

Jaakko Ruutiainen

Infratietomallien hyödyntäminen Kansallisen maastotietokannan ja Digiroadin lähtötietona automaattiajoneuvoja varten



Jaakko Ruutiainen

Infratietomallien hyödyntäminen
Kansallisen maastotietokannan ja Digiroadin
lähtötietona automaattiajoneuvoja varten

Opinnäytetyö 1/2018

Liikennevirasto

Helsinki 2018

*Kannen kuva: Havainnekuva Vt 12 Lahden eteläinen kehätie -hankkeen
tietosuunnitelmasta, Sito*

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN 2343-1741

ISBN 978-952-317-511-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Jaakko Ruutiainen: Infratietomallien hyödyntäminen Kansallisen maastotietokannan ja Digiroadin lähtötietona automaattiajoneuvoja varten. Liikennevirasto, tieto-osasto. Helsinki 2018. Opinnäytetyö 1/2018. 42 sivua. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-511-2.

Avainsanat: paikkatietojärjestelmät, ajoneuvot, tietomallit, mallinnus, automaatio, tieliikenne

Tiivistelmä

Tieliikenteen automaation odotetaan kehittyvän ja lisääntyvän voimakkaasti tulevaisuudessa. Automaattiajoneuvojen on tunnistettu tarvitsevan nykyistä tarkempia ieverkkoa kuvaavia paikkatietoaineistoja, joiden tietosisältöä on laajennettu automaation tarpeiden mukaisesti.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia Kansallisen maastotietokannan ja digiroadin kehittämistä niin tietosisällön kuin aineistontuotannon kannalta erityisesti automaattiajoneuvojen tarpeiden mukaisesti. Työ koostuu kahdesta tutkimusvaiheesta: kirjallisuustutkimuksesta ja empiirisestä tutkimuksesta. Kirjallisuustutkimuksessa tutkittiin erityisesti automaattiajoneuvojen toimintaa sekä tietoja, joita ne tieverkosta tarvitsevat ajamisen tueksi. Lisäksi tutkittiin tiesuunnittelun vaiheita, niissä syntyvien suunnitelmien sisältöä ja laatua sekä tieverkon paikkatietoaineistojen nykyisiä tietosisältöjä. Empiirisessä tutkimuksessa muodostettiin Valtatie 12 Lahden eteläinen kehätie -hankkeen tiesuunnitelmavaiheen infratietomallista paikkatietoaineisto, jota on mahdollista käyttää lähtöaineistona muiden paikkatietoaineistojen luonnissa.

Tutkimuksessa havaittiin, että tietosisällön laajuuden ja sijaintitarkkuuden osalta infratietomallit voisivat olla käyttökelpoisia lähtöaineistoja paikkatietoaineistoille. Käytössä olevat toisistaan eroavat nimikkeistöt kuitenkin heikentävät muodostettavan aineiston temaattista laatua ja hankaloittaa aineistotuotannon automatisointia, joten infratietomalleja ei vielä voida suoraan hyödyntää KMTK- ja Digiroad-aineistojen tuotannossa.

Jaakko Ruutiainen: Infrastrukturdatamodeller som utgångsdata för Nationella terrängdatabasen och Digiroad med tanke på automatiserade fordon. Trafikverket, informationsavdelningen. Helsingfors 2018. Lärdomsprov 1/2018. 42 sidor. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-511-2.

Sammanfattning

Automatiseringen av vägtrafiken kommer att utvecklas och öka kraftigt i framtiden. Automatiserade fordon kommer att behöva geodatamaterial som noggrannare än hittills beskriver vägnätet och vars datainnehåll har utvidgats så att det motsvarar de krav som automationen ställer.

Avsikten med detta diplomarbete var att undersöka hur den Nationella terrängdatabasen (KMTK) och Digiroad har utvecklats i fråga om såväl datainnehåll som materialproduktion och särskilt i fråga om hur dessa motsvarar de automatiserade fordonens behov. Diplomarbetet består av två faser: litteraturstudier och en empirisk undersökning. I litteraturstudien undersöktes särskilt de automatiserade fordonens verksamhet samt vilka data om vägnätet dessa behöver som stöd för navigeringen. Därutöver studerades de olika faserna inom vägplanering, innehållet och kvaliteten på planerna som utarbetas under dessa samt det nuvarande datainnehållet i vägnätets geodatamaterial. I den empiriska undersökningen skapades geodatamaterial utgående från den infrastrukturdatamodell som användes i vägplansskedet av projektet riksväg 12 Lahtis södra ringväg. Materialet kan användas som utgångsmaterial då man skapar andra geodatamaterial.

I undersökningen konstaterades att i fråga om datainnehållets omfattning och lägesnoggrannhet skulle infrastrukturdatamodellerna kunna användas som utgångsmaterial för geodatamaterial. Den varierande nomenklaturen som används försämrar den tematiska kvaliteten på materialet som ska utvecklas och gör det besvärligt att automatisera materialproduktionen. Därför kan man ännu inte direkt använda KMTK:s och Digiroads material för produktion.

Jaakko Ruutiainen: Infrastructure data models as a source for the Topographic Database and Digiroad with regard to automated vehicles. Finnish Transport Agency, Information Department. Helsinki 2018. Thesis 1/2018. 42 pages. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-511-2.

Abstract

Automation in road transport is expected to develop and increase soon. Automated vehicles will need spatial data that is more accurate and contains new feature types.

The purpose of this thesis was to study how the contents and data creation processes of both the Topographic Database and Digiroad have been improved, especially for the needs of automated vehicles. The thesis consists of two study phases: a literature study and an empirical study. The literature study examines the operations and the spatial data required by automated vehicles. In addition, the process of road planning, the contents of these plans and the contents of current spatial data available were examined. The empirical study included the creation of spatial data from the data-modeled plans of Main Road 12 Lahti Southern Ring Road. This spatial data could be used as a source for other spatial data.

In the study, it was found that data-modeled plans could be a suitable source of spatial data, as they contain many of the required feature types and the accuracy is good. However, the classifications used in data models and in spatial data are not uniform, which reduces the thematic quality and makes it hard to automate the processes used to create spatial data. Therefore, the data-modeled plans cannot yet be used to create spatial data for the Topographic Database or Digiroad.

Esipuhe

Tämä diplomityön on tehnyt Jaakko Ruutiainen osana tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa. Työ tehtiin Sito Oy:n palveluksessa Maanmittauslaitoksen ja Liikenneviraston tilauksesta.

Maanmittauslaitoksesta työtä ohjasi Antti Jakobsson ja Liikennevirastosta Matti Pesu. Työn ohjausryhmään kuuluivat myös Mika Stenmark Liikennevirastosta, Juha Liukas Sito Oy:stä ja Johanna Vuorjoki Sito Oy:stä. Työn valvojana toimi Aalto-yliopiston professori Antti Ylä-Jääski.

Helsingissä helmikuussa 2018

Liikennevirasto
Tieto-osasto

Sisällysluettelo

SYMBOLIT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Tutkimuksen tausta	9
1.2 Tutkimusongelma	10
2 AIKAISEMPI TUTKIMUS	13
2.1 Tiesuunnittelun vaiheet	13
2.2 Paikka- ja suunnitelmatietojen 3D-mallintamisen standardit.....	14
2.3 Infratietomallit.....	15
2.4 Kansallinen maastotietokanta	17
2.5 Digiroad	17
2.6 Automaattiajoneuvot.....	18
2.7 Automaattiajoneuvojen vaatimukset paikkatietoaineistoille	22
2.8 Kiinteistöjen sisäänajoväylät.....	23
3 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	24
3.1 Aineistojen tietosisällöt	24
3.2 Inframalleista saatavan aineiston laatu.....	29
3.3 Inframalleista tuotettava paikkatietoaineisto	30
4 TULOKSET	34
4.1 Tietolajit.....	34
4.2 Paikkatietoaineisto	35
4.3 Aineiston käyttökelpoisuus.....	37
5 YHTEENVETO.....	39
VIITTEET	40

Symbolit ja lyhenteet

Lyhenteet

GML	Geography Markup Language
IFC	Industry Foundation Classes
JHS	Julkisen hallinnon suositus
KMTK	Kansallinen maastotietokanta
MML	Maanmittauslaitos
OGC	Open Geospatial Consortium
SAE	Society of Automotive Engineers
SURAVAGE	Suunniteltu rakentamisvaiheen geometria
XML	Extensible Markup Language
YIV	Yleiset inframallivaatimukset

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Maanmittauslaitos on kehittämässä uutta kolmiulotteista Kansallista maastotietokantaa (KMTK) [1]. Uuden KMTK:n tietosisällön on tarkoitus vastata uusiin tarpeisiin, joita esimerkiksi automattiajamisen yleistyminen tuo. Samalla on tarkoitus myös yhtenäistää KMTK:n sekä Liikenneviraston tuottaman Digiroad-aineiston tuotantoprosesseja sekä tietosisältöä, niin että samaa tietoa ei ylläpidetä useassa aineistossa. KMTK:n aineistotuotantoprosessit on tarkoitus tehdä mahdollisimman automaattiseksi hyödyntäen valmiita aineistoja, tiedonsiirtoformaatteja ja rajapintoja sen sijaan, että lähtötietoja luettaisiin manuaalisesti ja ryhdyttäisiin ylläpitämään uudessa tietovarastossa. [1]

Kansallinen maastotietokanta tulee sisältämään perustiedot rakennuksista, liikenneverkoista, vesistöistä, korkeussuhteista, maanpeitteestä ja nimistöstä. KMTK-hankkeessa pyritään löytämään tapoja, joilla aineistotuotannossa pystytään hyödyntämään muissa prosesseissa tuotettavaa ja ylläpidettävää aineistoa. KMTK-aineiston tarkkuustasoja on kaksi. Tarkempi, lähinnä taajama-alueisiin keskittyvä, taso vastaa kantakarttojen tarkkuutta ja sisältöä sekä koko maan laajuisesti kerätty taso, joka vastaa tarkkuudeltaan ja sisällöltään nykyistä maastotietokantaa. Osa taajama-alueiden välisistä liikenneverkoista kuvataan myös tarkemmalla tasolla, jotta tarkkojen alueiden välille saadaan yhtä tarkka verkko. KMTK tulee olemaan 3D-muotoinen aineisto. [1]

Digiroad-aineiston [2] tietosisältö [3] pohjautuu lakiin (Laki tie- ja katuverkon tietojärjestelmästä), jonka lisäksi tietosisältöä on mm. laajennettu ajoneuvonavigaattori-valmistajien tarvitsemilla tiedoilla. Tulevaisuudessa myös älyliikenteen tarpeet vaikuttavat Digiroadin tietosisältöön. Tieliikenteen tulevaisuuden tarpeita mm. tietosisältöihin ja toimenpiteitä näiden tarpeiden täyttämiseksi on kuvattu esimerkiksi Liikenneviraston tutkimuksessa Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020 [4].

Liikennevirasto toteuttaa tie- ja ratahankkeita tietomallintamalla, jolloin niissä syntyy tarkkaa paikkatietoa sisältäviä kolmiulotteisia tietomallimuotoisia infra-aineistoja [5, 6]. Vaikka infratietomalli on ensisijaisesti suunniteltu rakentamisen tarpeisiin, on syntyvä paikkatieto hyödynnettävissä lähtötietona KMTK:ssa ja Digiroadissa, kun näiden tietomallit määritellään tarkoitukseen sopiviksi. Inframalli paikkatietoaineiston lähtötietona on kuvaus odotetusta hankkeen lopputuloksesta, jossa ei välttämättä voida suunnitella tarkasti tiettyjä rakentamisenaikaisia erityisjärjestelyjä tai väylän kunnan tilaa tietyllä hetkellä hankkeen valmistumisen jälkeen. Teijo Huotari on Pro gradu -tutkielmassaan tutkinut inframallien hyödyntämistä paikkatietoaineistona kunnossapidon tarpeisiin ja havainnut että tietomalli on muunnettavissa paikkatietoaineistoksi [7].

1.2 Tutkimusongelma

Infratietomallit sisältävät tarkkaa kolmiulotteista tietoa infrahankkeista ja ne voisivat siten olla hyvä lähtöaineisto KMTK- ja Digiroad-aineistojen tuottamiseen. Jotta aineistojen tuotanto voidaan toteuttaa automaattisesti tietolähteisiin perustuvaksi, tulee määritellä mitä tietoja tietolähteenä käytettävästä infratietomallista voidaan lukea ja toisaalta mitä luettavissa olevista tiedoista tarvitaan KMTK- ja Digiroad-aineistoja varten. KMTK- ja Digiroad-aineistoihin sisällytettävillä tiedoilla tulee olla käyttö-tarkoitus, jotta aineistoihin ei tuoda tarpeetonta informaatiota, jonka ylläpitoon kuluu resursseja.

Tietosisältöjen osalta on tärkeää kohteiden tunnistaminen niiden elinkaaren aikana. Yhdessä infrahankkeessa suunniteltu tieto muuttuu myöhemmän hankkeen lähtötiedoksi, jolloin on tiedettävä mistä käytettävä lähtötieto on alunperin syntynyt. Hankkeen aikana muuttuva tieto on myös pystyttävä kohdistamaan oikein kaikissa aineistoissa, joissa inframallia on käytetty lähtötietona. KMTK-MaastoID [8] ja KMTK-PysyväID-projekteissa [9] on tutkittu pysyvien tunnusten käyttöä KMTK:ssa. Myös Digiroadissa kohteilla on omat pysyvät tunnuksensa.

1.3 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusmenetelmät

Tämän diplomityön tavoitteena on määritellä, miten infrahankkeissa syntyvistä tietomallimuotoisista aineistoista pystytään muodostamaan KMTK- ja Digiroad-aineistojen kanssa yhteensopivaa kolmiulotteista aineistoa samalla tarkkuudella, jolla taajama-alueet kuvataan. Aineistosisältö määritellään ensisijaisesti automaattisten ajoneuvojen vaatimusten mukaisesti, jolloin päähuomio on liikenneverkoissa ja niissä infratietomallin kohteissa, jotka tukevat automaattisten ajoneuvojen tarpeita. Tutkimuksen tavoitteena on löytää vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä tietosisältöä automaattiajoneuvot tarvitsevat paikkatietoaineistoilta?
- Mitä laatuvaatimuksia automaattiajoneuvoilla on paikkatietoaineistoille?
- Mitkä ovat automaattiajoneuvojen vaatimusten sekä KMTK:n ja Digiroadin nykyisen sisällön erot ja yhteneväisyydet?
- Mitkä vaadituista tiedoista ovat saatavilla infratietomalleista?
- Mikä on infratietomalleista saatavan paikkatiedon laatu?

Automaattiajoneuvojen vaatimukset aineiston tietosisällölle määritellään kirjallisuuslähteiden perusteella niin, että kaikille kohteille on olemassa todellinen käyttötarve. Aineistosisällölle määritellään kohdekohtaisesti kuinka tärkeää tai välttämätöntä tieto on kullakin automaatiotasolla. Lisäksi pyritään määrittelemään laatuvaatimukset kohteille älyliikenteen lähtökohdista. Välttämättömyys ja laatuvaatimukset ovat osittain päällekkäisiä, koska välttämättömille kohteille vaaditaan luonnollisesti myös ainakin korkea kattavuus, täydellisyys ja virheettömyys. Aineiston laatuvaatimukset määritellään Julkisen hallinnon suosituksen 160 Paikkatiedon laadunhallinta [10] mukaisesti. Inframallien osalta selvitetään myös suunnittelun ja rakentamisen laatuvaatimukset, jotta tiedetään, kuinka laadukasta aineistoa inframalleista on tuotettavissa.

Kirjallisuustutkimusosuudessa selvitetään, mitä kohteita automaattiautot tieverkon paikkatietoaineistolta vaativat ja minkälaisia laatuvaatimuksia tämän tyyppisille aineistoille asetetaan. Olemassa olevista liikenneverkon aineistoista (Digiroad, KMTK) selvitetään niiden nykyinen tietosisältö. Lisäksi selvitetään Yleisten inframallivaatimusten (YIV) [6] sekä Liikennevirasto tietomallinnusohjeiden [5] perusteella, mitä kohteita väylähankkeesta suunnitellaan infratietomallimuodossa.

Osana tutkimusta muunnetaan Valtatie 12 Lahden eteläinen kehätie -hankkeen infratietomallina tehty suunnitelma paikkatietoaineistoksi, jota voidaan hyödyntää lähtötietona näiden paikkatietoaineistojen luomisessa. Samalla selvitetään, onko jo suunnitteluvaiheessa mahdollista lisätä inframalliin tietoja, jotka ovat tarpeellisia KMTK- ja Digiroad-aineistojen tuottamisessa ja joita ei vielä suunnitella tietomallintamalla. Tietomallintamalla suunnitelluissa hankkeissa suunnitellaan osa kohteista yhä vain kaksiulotteisena paikkatietona tai tekstinä ja taulukoina, vaikka näiden suunnittelu myös kolmiulotteisesti tietomallintamalla voisi olla mahdollista.

Diplomityössä tuotettava aineisto tehdään kolmiulotteisena mahdollisimman tarkaksi ja sisällöltään laajaksi hankkeen suunnitelmatiedot sekä kirjallisuustutkimuksessa tunnistetut käyttötarpeet huomioiden. Mahdollisesti tarvittava yleistäminen, kohteiden muuttaminen toisten kohteiden ominaisuustiedoiksi tai kohdeluokkien karsiminen on mahdollista KMTK- ja Digiroad-aineistojen tuotantoprosesseissa.

Tutkimusosuudessa vertaillaan olemassa olevien aineistojen, käyttötarpeiden ja suunnitelmassa olevien kohteiden tietoja sekä muokataan valitun hankkeen suunnitelma-aineistoista pilottiaineisto, jota voidaan hyödyntää jatkossa KMTK:n ja Digiroadin sisällön ja sisällöntuotantoprosessien kehittämisessä. Lopuksi tarkastellaan onko suunnitelmaan mahdollista lisätä tietoja, joille olisi käyttötarve, mutta jotka suunnitellaan toistaiseksi muuten kuin infratietomallina.

Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen rakenne niin, että ylimpänä on kuvattu työn vaiheet. Vaiheet jakautuvat sekä valitun infratietomallin käytännön tarkasteluun että aiheen teoreettiseen tarkasteluun. Molemmissa on toisiinsa rinnastuvat vaiheet ja lopuksi tarkastellaan vielä teorian ja käytännön kohtaamista vertaamalla saatuja tuloksia.



Kuva 1.

Tutkimuksen rakenne.

1.4 Tutkimuksen rajaukset

Tämä diplomityö keskittyy Liikenneviraston uusissa infrahankkeissa syntyviin rakentamisen suunnittelun infratietomalleihin. Tietosisältöjen osalta keskitytään kohteisiin, joita automaattiautojen on jo tunnistettu hyödyntävän, vaikka infratietomalleista voisi olla saatavissa tietoa myös muita käyttötarkoituksia varten.

2 Aikaisempi tutkimus

2.1 Tiesuunnittelun vaiheet

Tiehankkeen suunnittelu jakautuu neljään vaiheeseen, jotka ovat esiselvitys, yleisuunnitelma, tiesuunnitelma ja rakennussuunnitelma. Suunnittelu perustuu maantielakiin, maantieasetukseen ja muihin maankäytön suunnittelua koskeviin lakeihin. [11] Kuvassa 2 on esitetty tiehankkeen elinkaaren vaiheet sekä niihin liittyvät infratietomallit [12].

Infrahankkeen suunnittelu tarkentuu vaiheittain ja hankkeen edetessä vaiheesta toiseen kasvaa myös inframalliin mallinnettujen kohteiden määrä ja tarkkuus. Esi-suunnitteluvaiheessa tutkitaan hankkeen tarvetta sekä arvioidaan eri vaihtoehtoja maakunta- ja yleiskaavatasolla. Yleissuunnitteluvaiheen tavoitteena on havainnollistaa miten suunnitelma sopii olemassa olevaan ympäristöön ja tien sijainti määritellään likimääräisesti. Lisäksi arvioidaan eri vaihtoehtojen vaikutuksia sekä kustannuksia. Tie-, rata- ja rakennussuunnitelmavaiheessa havainnollistamisen tavoitteena on tukea rakenteiden yhteensovittamista, hankkeen suunnitteluprosessin ohjausta sekä suunnittelutiimin johtamista. Hyväksytty tiesuunnitelma vanhenee neljässä vuodessa, jonka jälkeen se on tehtävä uudestaan. Rakennussuunnittelu tehdään rakentamisen yhteydessä, kun hankkeen rahoitus on varmistunut. Detaljisuunnittelussa keskitytään teknisiin ratkaisuihin ja rakennettavuuden varmistamiseen. Hankkeen alkuvaiheissa suunnitelmavaihtoehtoja voi olla useita ja vaihtoehtojen määrä karsiutuu suunnittelun edetessä. Hanke voi myös keskeytyä, jos suunnittelun jatkamiselle ei ole perusteita. Suunnitelmat voivat muuttua vielä rakentamisen aikanakin. [6, 11]



Kuva 2. Infrahankkeen elinkaari ja inframallit [12].

Tietomalli tarkentuu koko hankkeen elinkaaren ajan. Jokaisen suunnitteluvaiheen tuloksena syntynyt tietomalli muuttuu seuraavan vaiheen lähtötiedoksi ja tietomalli pysyy ajantasaisena. Tietomallia voi hyödyntää myös toisen hankkeen lähtötietona. Malliin liittyvät ulkoiset lähtötiedot voivat päivittyä rekistereihin ja muihin tietolähteisiin. Lähtötieto voi päivittyä, koska sitä on muokattu hankesuunnittelussa tai se on päivittynyt muun hankkeen tai toiminnan seurauksena alkuperäisessä lähteessä, joten lähtötiedot päivittyvät kaksisuuntaisesti. [6]

Osana tiehankkeiden rakennussuunnitelmaa tuotetaan myös suunniteltu rakentamisvaiheen geometria (SURAVAGE). SURAVAGE-prosessissa tuotetaan Liikenneviraston hankkeista tien keskilinjageometria, jota ei aiemmin ole rakennussuunnittelussa suunniteltu. Prosessin tarkoituksena on ylläpitää ennakoivasti ajantasaista aineistoa tie- ja katuverkosta. [13]

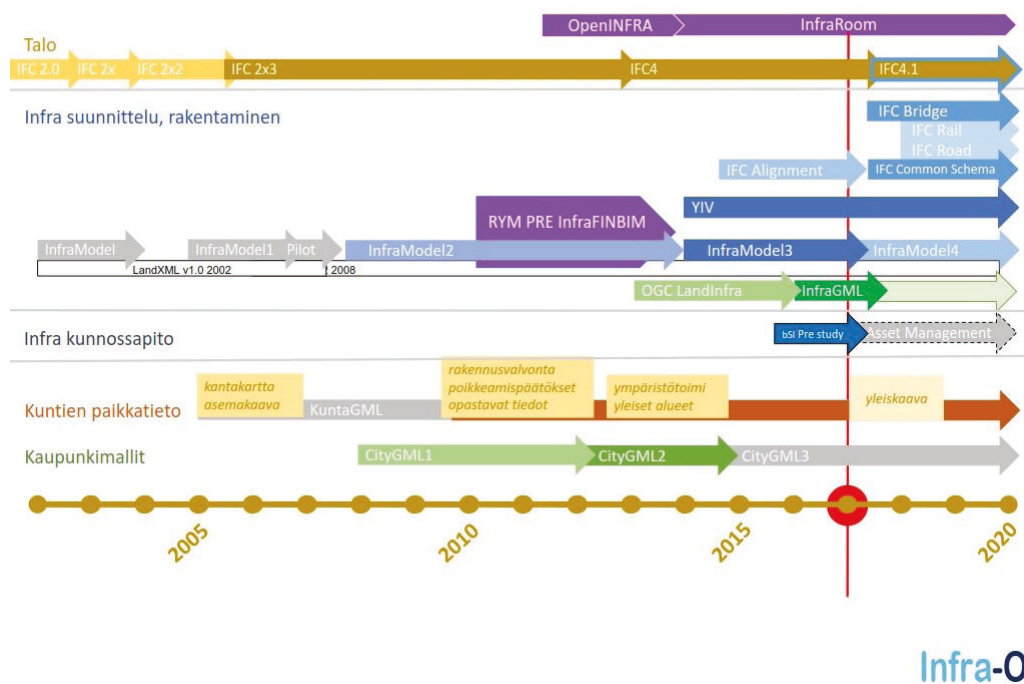
2.2 Paikka- ja suunnitelmatietojen 3D-mallintamisen standardit

Liikenneviraston mallinnusohjeiden mukaisesti infrahankkeen suunnitelma-aineisto toimitetaan ensisijaisesti avoimissa formaateissa, kuten IFC, LandXML tai Inframodel. Mikäli tämä ei ole mahdollista, voidaan perustellusta syystä aineisto tuottaa DWG-, DGN-, DXF- tai 2D-paikkatietoformaateissa. Kaikki suunnitelmat tulee suunnitella tai vähintään muille osapuolille toimittamista varten muuntaa hankkeessa käytettäväksi päätettyyn viralliseen koordinaatistoon ja mittayksiköihin. Hankkeen koordinaatisto sidotaan valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. [5]

Kolmiulotteista paikkatietoa voidaan siirtää esimerkiksi CityGML- [14] tai InfraGML-formaateissa [15]. CityGML on kaupunkiympäristön kohteita varten tehty standardi, joka tukee mm. siltoja, rakennuksia ja teitä kaupunkimallina [14]. InfraGML puolestaan on erityisesti infrakohteita varten kehitetty, laajennettavissa oleva standardi [15]. InfraGML sisältää useita samoja kohdetyppejä kuin LandXML- ja Inframodel-formaatit, joten se soveltuu infran suunnittelun ja rakentamisen aineistojen formaattiksi.

InfraGML- ja IFC-formaattien kohdemalli on yhdenmukainen geometrioiden kuvaamisesta lukuun ottamatta. IFC on erityisesti talojen suunnittelussa käytetty formaatti, jota hyödynnetään infrahankkeiden taitorakenteiden tiedonsiirtoformaattina. IFC tukee jo nykyisellään kohdeluokkia niin, että sillä olisi mahdollista kuvata myös infrahankkeiden suunnitelmia. Inframodel-formaatin perustana olevaa LandXML-formaattia ei enää kehitetä, joten Inframodel on tulevaisuudessa siirtymässä joko InfraGML- tai IFC-formaattiin pohjautuvaksi. [16]

Kuvassa 3 on esitetty infra- ja 3D-paikkatietoaineistojen formaattien kehitystä ja soveltuvuutta erilaisiin käyttötarkoituksiin. Infrahankkeiden suunnittelun osalta käytössä olevat formaatit ovat IFC ja Inframodel. Liikenneviraston hankkeista osa suunnitelluista kohteista kuitenkin toimitetaan 3D DWG-formaatissa [5]. DWG on suljettu formaatti, joten tulevaisuudessa siitä pyritään siirtymään avoiimiin formaatteihin. Paikkatietoformaattina InfraGML mahdollistaisi myös infrasuunnitelmien siirron. [16] Siirtoformaateissa tulee kuitenkin huomioida tuki kaarina mallinnetuille väylägeometrioille, koska kaikki formaatit eivät tue kaaria, jotka ovat väyläsuunnittelussa olennaisia.



Kuva 3. *Infra-aineistojen formaattien kehitys [16].*

2.3 Infratietomallit

Infrahankkeen tietomallimuotoiseen suunnitelma-aineistoon mallinnettavat tiedot on kuvattu tietomallintamista edistävän Building Smart Finland yhteistyöfoorumin Yleiset inframallivaatimukset (YIV) 2015 -ohjeessa [6]. Lisäksi Liikenneviraston julkaisema Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje [5] määrittelee YIV-ohjeen perusteella Liikenneviraston infrahankkeissa mallinnettavat tiedot. Kaikki hankkeissa suunniteltavat tiedot on kuvattu Liikenneviraston ohjeissa [17], mutta kaikkia suunnitelmia ei mallinnetta infratietomalleina. Liikennevirasto hankkeiden tilaajana määrittelee käytettävät suunnitteluohjeet.

Osa suunnitelmatiedoista voi olla esimerkiksi kaksiulotteisina karttoina, muina piirustuksina, tekstimuotoisena selostuksena tai taulukoina. Yleiset inframalliohjeet sallivat myös hankekohtaista harkintaa kohteiden mallintamisessa hankkeen tarpeiden mukaisesti niin, että kohteita ei välttämättä mallinnetta ollenkaan tai ne voidaan mallintaa ohjeista poikkeavalla tavalla. [6] Hankkeen laajuus ja tyyppi vaikuttavat käytettäviin mallinnustapoihin, niin että pienessä ja yksinkertaisessa hankkeessa suunnitelmat voivat olla kevyemmin tehtyjä. Luovutusaineistoon mallinnetaan vain rakennettavat tai korjattavat kohteet, joten tietomalli ei välttämättä sisällä kaikkia kohteita, joita maastosta löytyy [18].

Infratietomalleissa kohteet on mallinnettu kolmiulotteisesti pääasiassa pisteinä ja viivoina sekä kolmiopintoina. Kohteiden ominaisuustiedot määrittelevät kohteen tyyppin sekä sen suunnitellut ominaisuudet. Suunnitteluvaiheesta riippuen esimerkiksi valaistus suunnitellaan valaistun alueen aluerajauksena, valaisinpylväiden maanpinnan tasossa olevina pisteinä tai kolmiulotteisina kappaleina. [5, 6] Sillat on mallinnettu tarkemmin erillisen ohjeen mukaisesti kolmiulotteisina kappaleina. [19]

Inframallivaatimuksissa vaadittujen suunniteltavien kohteiden lisäksi hankkeissa suunnitellaan kohteita myös muuta käyttöä kuin rakentamista varten, esimerkiksi hanketta visuaalisesti havainnollistaviin esittelymalleihin. Näiden havainnollistavien mallien kohteita ei kuitenkaan ole suunniteltu ja mallinnettu samalla tarkkuudella, kuin suunnitteluvaiheessa varsinaisesti suunniteltavat kohteet. [5] Visualisointimalleja ei siten voida suoraan käyttää KMTK:n ja Digiroadin lähtöaineistona eikä näiden suunnittelu tarkemmin ole välttämättä järkevää etenkin tiesuunnittelun alkuvaiheissa, kun hankkeen toteutuksesta voi olla useita erilaisia vaihtoehtoja eikä hankkeen toteutuminen ole vielä varmistunut. Kuvassa 4 on esitetty yksi näkymä Vt 12-hankkeen katselumallista [20].



Kuva 4. Ote Vt 12-hankkeen visualisointimallista [20]. Katselusuunta lännestä.

Teijo Huotari on Pro gradu -tutkielmassaan Tieverkon tietomallien hyödyntäminen paikkatietojärjestelmissä [7] tutkinut infratietomallien hyödyntämistä paikkatietona erityisesti teiden kunnossapidon näkökulmasta. Huotarin mukaan tiedostomuotojen muunnokset inframallien ja paikkatietoaineistojen välillä ovat mahdollisia, vaikka tutkielmassa käytettyjen tiedostoformaattien ja paikkatieto-ohjelmistojen yhteensopivuus onkin osin epäluotettavaa, joten suunnitelmatietojen hyödyntäminen vaatii myös manuaalista työtä. Erityisesti ominaisuustiedot ovat kohteiden koordinaatteja haasteellisempia muuntaa, johtuen käytetyistä tiedostoformaateista ja ohjelmistoista. Toisaalta tietomalleista on mahdollista johtaa paikkatieto-ohjelmistoilla myös tietoja, joita malleihin ei ole suoraan suunniteltu. Esimerkiksi tien leveys on laskettavissa tien reunojen sijainneista. Haasteina infratietomallien käytössä paikkatietoaineistona ovat jopa hankkeen sisällä vaihtelevat mallinnuskäytännöt, suunnitelman ja toteuman väliset erot sekä suunnitelmien keskeneräisyys vielä rakentamisvaiheen aikana. [7]

Hankkeen rakentamisen aikaiset laatuvaatimukset on määritelty InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmässä [21]. Vaatimuksissa on kuvattu kohteittain käytettävät materiaalit ja menetelmät sekä suurimmat sallitut poikkeamat suunniteltuun sijaintiin nähden. Paikkatietoaineistojen laadunarviointia varten on luotu julkisen hallinnon suositus (JHS) 160 [10], jossa on kuvattu paikkatietoaineistoissa mitattavat laatu-tekijät sekä käytettävät laatumittarit. Paikkatietoaineiston laadussa olennaisia tekijöitä ovat sijaintitarkkuus, temaattinen tarkkuus eli kohteiden oikea luokittelu, täydellisyys sekä ajallinen tarkkuus. Ajallinen tarkkuus yleisesti tarkoittaa sitä, että aineisto on kerätty ilmoitettuna aikana. Automaattijoneuvojen kannalta olennaista on kuitenkin se, että aineisto vastaa nykyistä tilannetta eli se on mahdollisimman tuoretta. Aineiston laatua verrataan tutkimalla sen vastaavuutta reaaliajamaan. Sijaintivirheiden korjaaminen ja kompensoiminen voi olla mahdollista, mutta muita virheitä ei yleensä voida helposti korjata aineistosta. [22, 23]

Josefiina Saarnikko on diplomityössään Infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö [24] tutkinut infratietomalleissa käytettäviä nimistöjä. Yhtenäiset nimistöt mahdollistavat tehokkaan tiedonsiirron infrahankkeen elinkaaren aikana eri prosessivaiheiden ja toimijoiden välillä sekä mahdollistavat tehokkaan infraomaisuuden hallinnan. Nimistöjä käytetään suunnittelussa, rakentamisessa ja kunnossapidossa. [24] Samoja nimistöjä ei kuitenkaan käytetä paikkatietoaineistoissa eikä automaattijoneuvojen tutkimuksessa, joten eri lähteiden käyttämät nimet kohteille eivät aina ole samoja tai tarkoita täysin samaa asiaa.

2.4 Kansallinen maastotietokanta

Kansallinen maastotietokanta [1] on Maanmittauslaitoksen kehityshanke, jossa uudistetaan kansallista paikkatietovarastoa. Hankkeen tavoitteena on muuttaa keskeiset paikkatietoaineistot digitaalisiksi, yhteensopiviksi, kolmiulotteisiksi ja yksilöllisen tunnuksen omaaviksi. Hankkeessa on tarkoitus hyödyntää automatisoituja prosesseja sekä standardoituja rajapintoja aineistojen kokoamiseen niin, ettei niitä tarvitse ylläpitää useassa paikassa vaan ylläpito ja tietojen keruu on hajautettua. [1]

Tämän diplomityön tekoaikana KMTK:n kohdemallista [25] on ollut saatavilla vasta luonnosvaiheessa olevia versioita, joten kohdemalli voi vielä muuttua. Tietosisällön tai tarjottavien rajapintojen kuvauksia ei ole ollut saatavilla. Myös KMTK:n ja Digiroadin välinen suhde eli mitä tietolajeja ylläpidetään KMTK:ssa ja mitä Digiroadissa on toistaiseksi päättämättä [1]. Tässä diplomityössä KMTK:n ja Digiroadin yhdessä muodostama kokonaisuutta tutkitaan yhtenä paikkatietoaineistona.

2.5 Digiroad

Digiroad [2] on Liikenneviraston ylläpitämä tie- ja katuverkon paikkatietoaineisto, johon on koottu keskilinjageometriat sekä ominaisuustietoja. Tietosisällön vähimmäistaso pohjautuu lakiin tie- ja katuverkon tietojärjestelmästä (991/2003) ja valtioneuvoston asetukseen tie- ja katuverkon tietojärjestelmään tallennettavista ominaisuustiedosta (997/2003). Sen tietosisältö on kuitenkin uusien tietotarpeiden myötä laajentunut lain ja asetuksen vaatimuksia kattavammaksi. Digiroad-aineisto on käytössä lähtöaineistona ajoneuvonavigaattoreissa reittisuunnittelua varten [26], joten se on luonteva lähtökohta myös automaattijoneuvojen tieverkkoa kuvaavaksi paikkatietoaineistoksi.

2.6 Automaattiajoneuvot

Liikenteen automaatiota tutkitaan laajasti sekä yksityisellä että julkisella sektorilla teollistuneissa maissa. Tutkimuksen tavoitteena on erityisesti turvallisuuden lisääntymisen mahdollisuus, mutta myös mahdollisuudet hyötyä ja saada etua automaation lisääntymisen tuomista muutoksista. Käytännössä jokaisella autonvalmistajalla on omaa tuotekehitystä ja testausta automaatioon liittyen, mutta ajoneuvojen varsinaisesta teknologiasta on vaikea saada luotettavaa tietoa. Ajoneuvojen automaatio on edelleen vasta tutkimusvaiheessa ja aiheeseen liittyy monia avoimia kysymyksiä, joiden vastauksien selvittämiseksi tarvitaan vielä lisää testausta. Perinteisen auto-teollisuuden lisäksi aihetta tutkivat ja kehittävät myös monet uudet tulokkaat. Erityisesti EU:ssa, Yhdysvalloissa ja Japanissa aihetta on tutkittu merkittävästi. [27–30]

Automaattiajoneuvolla tarkoitetaan ajoneuvoa, joka kykenee ainakin osin suoriutumaan ajamisesta ilman kuljettajaa. Automaattiajoneuvot jaetaan yleisesti kuuteen SAE (Society of Automotive Engineers) teknologiatasoon ajoneuvojen automaation määrän mukaisesti [31]. Tasot on kuvattu taulukossa 1. Tasolla 0 ajoneuvossa ei ole mitään automaatiota vaan kuljettaja huolehtii kaikista ajamiseen liittyvistä toiminnoista. Tasoilla 1–2 kuljettaja suorittaa osan ajamisesta ja seuraa automaation toimintaa, kun ajoneuvon automaatiojärjestelmä on aktiivisena. Tasoilla 3–5 ajoneuvon automaatiojärjestelmä suorittaa kaiken ajamisen, kun järjestelmä on aktiivisena. [31] Tasojen 0–2 ajoneuvoja on jo yleisesti saatavilla. Audi on julkistanut vuoden 2018 A8-mallin, joka on ensimmäinen teknologiatason 3 ajoneuvo, joka tulee yleisesti saataville [32]. Ford on ilmoittanut tuovansa tason 4 ajoneuvon markkinoille vuonna 2021 [27]. Tasojen 4 ja 5 mukaisten ajoneuvojen yleistymisen uskotaan kuitenkin kestävän vuosikymmeniä [29, 33].

Kehitys automaatiotasolta seuraavalle tulee tapahtumaan vaiheittain teknologian kehittyessä. Automaattisten ajoneuvojen teknologiaa koskevat näkemykset ovat yhdenmukaistumassa ja kehittyneemmät ajoneuvot tulevat tarvitsemaan kommunikaatiota, tarkkoja kolmiulotteisia kartta-aineistoja, kehittyneitä antureita sekä tehokasta tietojenkäsittelyä. Automaation lisääntyminen on varmaa, mutta sen aikataulu ei ole tiedossa. Automaatiolla kuitenkin uskotaan olevan selkeitä hyötyjä mm. ympäristöystävällisyyden, turvallisuuden ja kustannusten suhteen, vaikka automaattiset ajoneuvot aluksi tulevatkin olemaan tavallisia autoja kalliimpia. [27, 30, 33, 34]

Alkuvaiheessa automaattinen ajaminen tulee keskittymään tietyille alueille, joilla tiestö ja liikennetilanteet ovat automaattisen ajoneuvon kannalta helpommin hallittavissa. Tällainen ympäristö voi olla esimerkiksi moottoritie, jolla ei ole vastaan-tulevaa liikennettä, jalankulkijoita tai se on varustettu erityisesti automaattiajoneuvoja varten. [29, 34] Tällöin SAE-tason 3 ajoneuvo on kuljettajan täydessä hallinnassa, kunnes saavutaan ajoneuvon automaatiolle sopivalle tielle, jossa ajoneuvo vastaa ajamisesta.

Taulukko 1. SAE-luokitus

Taso	Automaation rooli	Käyttäjän rooli
0 Ei automaatiota	Ei automaatiota.	Kuljettaja suorittaa kaiken ajamisen.
1 Kuljettajan avustaminen	Automaatio avustaa kuljettaja yksittäisissä suoritteissa. Esimerkiksi kaistalla pysyminen tai mukautuva tasanopeussäädin.	Vastaa ajamisesta, tarkkailee automaation toimintaa ja suorittaa toimenpiteet, joita ei ole automatisoitu. Kuljettaja voi halutessaan ottaa ajoneuvon välittömästi kokonaan hallintaansa.
2 Osittainen automaatio	Osittainen ajamisen automatisointi. Esimerkiksi kaistalla pysyminen ja mukautuva tasanopeussäädin.	Vastaa ajamisesta, tarkkailee automaation toimintaa ja suorittaa toimenpiteet, joita ei ole automatisoitu. Kuljettaja voi halutessaan ottaa ajoneuvon välittömästi kokonaan hallintaansa.
3 Ehdollinen automaatio	Sallii automaattiajamisen vain määritellyissä olosuhteissa. Aktivoituna vastaa kaikesta ajamisesta. Voi pyytää matkustajaa ottamaan ajoneuvon hallintaansa, jos automaattiajamisen edellytykset eivät täyty.	Kytkee järjestelmän päälle, jos automaattiajamisen edellytykset täyttyvät. Seuraa jatkuvasti järjestelmän toimintaa ja on valmiudessa ottamaan ajoneuvon hallintaansa.
4 Korkea automaatio	Sallii automaattiajamisen vain määritellyissä olosuhteissa. Päälle kytkettynä vastaa kaikesta ajamisesta. Voi pyytää matkustajaa ottamaan ajoneuvon hallintaansa, jos automaattiajamisen edellytykset eivät täyty.	Kytkee järjestelmän päälle, jos automaattiajamisen edellytykset täyttyvät. Järjestelmän toimiessa kuljettaja muuttuu matkustajaksi, jonka ei tarvitse seurata liikennettä tai puuttua järjestelmän toimintaan, ellei järjestelmä erikseen pyydä kuljettajaa ryhtymään toimenpiteisiin.
5 Täydellinen automaatio	Automaatiojärjestelmä vastaa kaikesta ajamisesta.	Kuljettaja kytkee järjestelmän toimintaan. Kuljettaja muuttuu matkustajaksi, mikäli kuljettaja on ajoneuvon kyydissä. Ajoneuvossa olevan kuljettajan sijaan järjestelmän voi kytkeä päälle myös muu käyttäjä kauko-ohjauksella. Matkustaja ei voi kaikissa tilanteissa ottaa ajoneuvoa hallintaansa välittömästi.

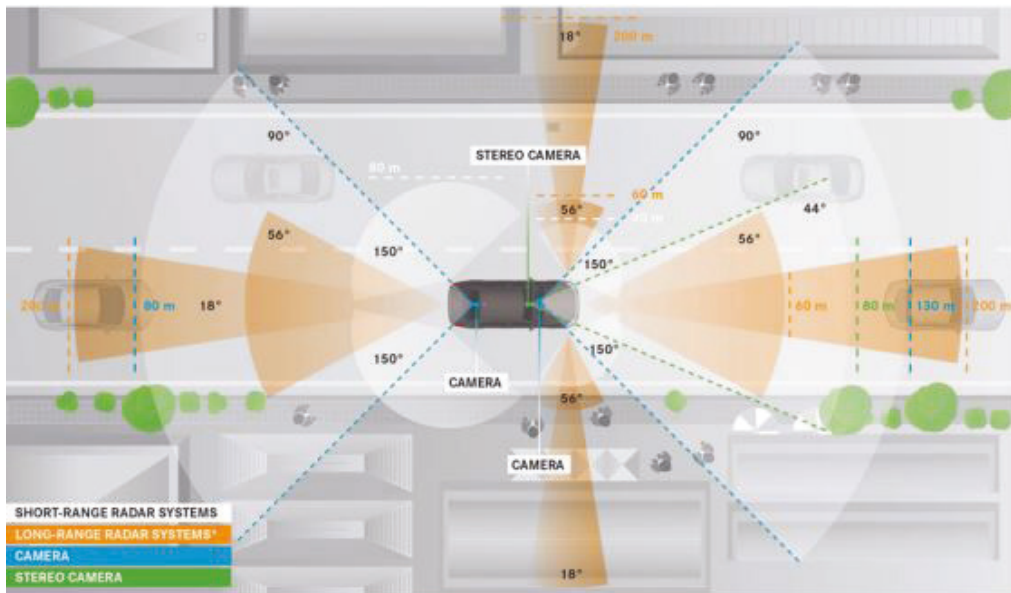
Automaattinen ajaminen jakautuu strategiseen, taktiseen ja operatiiviseen toimintaan. Strategista toimintaa on ennen ajosuoritetta tapahtuva reitin suunnittelu haluttuun määränpäähen. Taktista toimintaa on liikennetilanteen havainnointi, niiden mukaisesti toimiminen sekä suunnitellun reitin noudattaminen. Operatiivista toimintaa ovat ajoneuvon liikkeiden hallinta eli ohjaaminen sekä nopeuden sovittaminen liikennetilanteeseen. [31]

Strategisen tason reitin suunnittelussa määritellään ajonopeudet, kaistanvaihdot, risteykset, suojatiet, liikennevalot ja paikannusta avustavat maamerkit [35]. Taktisella tasolla ajoneuvon tulee tunnistaa muut tienkäyttäjät sekä suorittaa paikannus. Paikantaminen ei yleensä voi perustua pelkästään satelliittipaikannukseen, koska sen saatavuus ja luotettavuus ei ole riittävä kaikissa olosuhteissa. Esimerkiksi tunnelit estävät signaalin vastaanottamisen satelliiteilta. Signaalien häirintä ja väärentäminen on myös mahdollista. Satelliittipaikannuksen lisäksi ajoneuvon asemointiin voidaan käyttää myös liikennetilanteen tunnistamiseen käytettäviä tutkia, kameroita, kaikuluotaimia, inertiamittauksia ja odometriaa. Paikkatietoaineistoja voidaan käyttää muita paikannustapoja täydentävä tietona. [23, 35, 36]

Ajoneuvon paikannukselta vaadittu sijaintitarkkuus saadaan vertailemalla ajoneuvojen ja ajokaistojen leveyttä. Sallittu turvallinen virhemarginaali on $(\text{kaistanleveys} - \text{auton leveys})/2$. Ajoneuvo voi turvallisesti sijaita tämän verran eri kohdassa poikkisuunnassa kaistan keskilinjaan nähden ilman vaaraa viereisellä kaistalla liikkuvaan ajoneuvoon törmämisestä. Tähän virhemarginaaliin sisältyy paikannusvirheen lisäksi ajoneuvon ohjauksen virheet sekä paikkatietoaineiston kohteiden sijaintivirheet. Tieluokasta ja käytetystä ajoneuvosta riippuen virhemarginaali vaihtelee välillä 0.38–1.35 m. [35]

Toistaiseksi tarkimpien automaattiajoneuvojen tarpeisiin tehtyjen paikkatietoaineistojen sijaintitarkkuus on noin 10 cm. Näissä aineistoissa kohteet on kuvattu kaistojen tasolla. Satelliittipaikannuksen tarkkuus on yleensä muutamia metrejä. Parempaa tarkkuutta varten voidaan satelliittien lisäksi käyttää myös tunnetuista sijainneista saatavia korjaussignaaleja sekä kinematiikkaan perustuvien antureiden tarjoamia tietoja. Parhaimmillaan näillä teknologioilla voidaan päästä jopa yhden senttimetrin paikannustarkkuuteen. Korjaussignaalin vastaanottaminen kuitenkin lisää tiedonsiirtohäiriöiden vaikutusta huomattavasti. [37]

Franke ym. [36] sekä Ziegler ym. [38] ovat tutkineet automaattiajoneuvojen toimintaa saksalaisessa tieympäristössä ajoneuvolla, joka hyödyntää ennalta rakennettua paikkatietoaineistoa sekä ajoneuvon liitettyjä kameroita. Kuvassa 5 on havainnollistettu ajoneuvossa olevat kamerat ja tutkat sekä näiden havaintoalueet. Tutkijat havaitsivat kaistojen tunnistamisen kaupunkiympäristössä vaikeaksi, koska kaistoja on merkitty sekä maalauksin että reunakivin. Myös liikennevalojen havaitseminen on erityisesti suuremmissa ajonopeuksissa haastavaa. Tunnistamista voi kuitenkin helpottaa, jos nämä kohteet on etukäteen kartoitettu tarkasti paikkatietoaineistoon. Kuvassa 6 on esitetty ajoneuvon liikenteessä ottama kuva, johon on korostettu ajoneuvon havaitsemat kaistamaalaukset sekä paikkatietoaineistoon etukäteen tuotetut tiedot kaistamaalauksista. Keliolosuhteista erityisesti kova lumisade häiritsee kaistojen tunnistamista. [36, 38]



Kuva 5. Automaattiajoneuvon sensoreita [38].



Kuva 6. Ajoneuvon havaitsemia kaistamaalauksia. Havainnot on korostettu punaisella ja paikkatietoaineiston kaistamaalaustiedot on merkitty sinisellä. [38]

Kahilaniemi ym. [39] ovat tutkineet automaattiajoneuvojen toimintamahdollisuuksia Tampereella. Nykyisin saatavilla olevat kartta-aineistot kaistamerkinnoista, liikennevaloista ja -merkeistä, suojateista, ryhmityskaistoista, tilapäisistä liikennejärjestelyistä sekä kelistä on todettu liian epätarkoiksi eikä niiden laatu ole riittävä automaattiajoneuvojen tarpeisiin. Myös talviolosuhteiden huomiointi kunnossapidossa sekä risteyksien etuajo-oikeuksiin liittyvän tiedon puute vaikeuttavat automaattiajoneuvojen toimintaa Tampereella. Paikkatietoaineistojen kehittämisen lisäksi myös tienvarsilaitteiden lyhyen kantaman kommunikaation avulla ajoneuvoille lähettämä tieto voi auttaa tunnistamaan kohteita. Sitä kautta voidaan myös varoittaa näkökentän ulkopuolelle jäävistä liikennetilanteista. [39]

Innamaa ym. [35] ovat selvittäneet automaation lisääntymisen vaikutuksia Suomen tieliikenteessä. Vaikutukset liikennejärjestelmään on havaittu sitä merkittävämmiksi mitä kehittyneempiä automaattiset ajoneuvot ovat. Nykyiset paikkatietoaineistot on todettu liian epätarkoiksi automaattiajoneuvon tarpeisiin. Tarkempia aineistoja olisi luotavissa jo nyt kartoittamalla nykyinen tiestö tarkemmin, vaikka tämä johtaakin hitaasti päivittyviin aineistoihin. Navigointikarttoja voisi luoda myös rakennetun ympäristön tarkoista kantakartoista. 3D-malleja voisi olla mahdollista käyttää myös navigointiaineistojen luomiseen simulaatioympäristössä, jossa virtuaalisilla ajoneuvosensoreilla kerätään tietoa mallissa näkyvistä maamerkeistä. [35]

Lumiaho ja Malin [4] ovat tutkineet automaattiajoneuvon toiminnan edistämistä ja mahdollistamista Suomessa. Tuloksena on syntynyt joukko valtionhallinnon toimenpiteitä tieliikenteen automatisoinnin edistämiseksi vuosille 2016–2020. Parantamista vaativien aineistojen lisäksi on havaittu, että tietoliikenneyhteydet sekä tietoturvaratkaisut ajoneuvojen ja liikenneinfrastruktuurin välillä vaativat kehittämistä. [4]

Redzic ja Rabel [34] ovat kehittäneet pilvipalvelua automaattisen ajoneuvon paikantamiseen. Nykyisen sijainnin selvittämisen lisäksi ajoneuvo tarvitsee tietoa siitä mitä sensoreiden kantaman ulkopuolella on tulossa. Tarvittavia tietoja voivat olla muun muassa edessä oleva keli- ja liikennetilanne tai lähestyvä kaistanvaihto. Ajoneuvon tulee lisäksi käyttäytyä sopivalla tavalla, jotta ajosta ei tule nykivää tai vaarallisen oloista. Pilvipalvelu mahdollistaa myös paikkatietoaineiston parantamisen automaattisesti hyödyntämällä ajoneuvoista saatavaa palautetta. [34]

Quddus ja Velaga [23] ovat tutkineet ajoneuvon paikannustarkkuuden parantamista liittämällä paikannushavainnot paikkatietoaineistoon. Kun tiedetään sekä esimerkiksi satelliittipaikannuksella saatu sijainti että kartta-aineistosta ne tiet, joilla ajoneuvo voi liikkua, voidaan nämä tiedot yhdistää ja siten vähentää paikannusvirhettä. [23] Myös Gustafsson ym. [40] ovat tutkineet ajoneuvonavigoinnin ja -seurannan tarkkuuden parantamista yhdistämällä paikkatietoaineistoja sekä erilaisista ajoneuvossa olevista sensoreista, kuten kiihtyvyyssantureista tai matkamittareista, kerättyjä tietoja. Tietojen yhdistämisellä saatu paikannustarkkuus ei kuitenkaan voi ylittää paikkatietoaineiston tarkkuutta. [40]

Craig [41] on selvittänyt tieverkon paikkatietoaineistojen käyttämistä älykkäiden kuljettajaa avustavien järjestelmien tukena. Automaattiajoneuvojen käyttötarpeiden lisäksi tarkkaa 3D-karttaa on mahdollista käyttää myös ajamisen helpottamiseen silloin kun ajoneuvoa kuljettaa ihminen. Esimerkkeinä sähköauton virran riittävyyden laskenta, ennakoiva nopeuden säätö ylä- ja alamäissä, turvallisten ohituspaikkojen tunnistaminen sekä varoittaminen liiallisesta nopeudesta kaarteissa. Näitä tarkoituksia varten aineistosta tarvitaan mm. korkeustietoa sekä tietoja kaarteiden jyrkkyyksiä. [41]

2.7 Automaattiajoneuvojen vaatimukset paikkatietoaineistoille

Reitin suunnittelua ja automaattista ajamista varten tarvitaan paikkatietoaineisto, jossa on kuvattu automaattiajoneuvon tarvitsemat kohteet. Tarpeellisia kohteita ovat ainakin reitittävä tieverkko, suojatiet, liikennemerkkit ja -valot, ajoratamaalaukset ja kaistaviivat, katukiveykset, reunapaalut, auraskepit, katuvalot, risteykset, rautateiden tasoristeykset, ajojärjestys risteyksissä, kaistajärjestelyt, talojen kulmat sekä muut maamerkit, kaiteet, meluaidat, portit ja puomit sekä kiinteistöjen sisäänajoväyliin linkitetyt osoitteet. Kohteiden tulee olla ajantasaisia. Lisäksi tarvitaan myös muuttuvia tietoja kuten ruuhkatiedot, tilapäiset liikennejärjestelyt ja kelitiedot. Muuttuvien tietojen reaaliaikaista välittämistä varten tarvitaan myös tietoliikenneyhteys automaattiseen ajoneuvoon. Myös aineiston ja sen siirron tietoturva tulee huomioida. [4, 30, 34–39]

Kaistamaalaukset ja katukiveykset ovat toistaiseksi yleisimpiä tapoja merkitä kaistojen sijainteja. Niiden havainnointi kameroilla on kuitenkin haastavaa, joten tulevaisuudessa niitä saatetaan korvata paremmin ajoneuvojen tutkilla havainnoitavilla merkinnöillä. [37] Myös muissa vaadituissa kohdetyypeissä voi olla kohteita, joita käytetään, koska ne ovat nykyisin saatavilla, mutta vastaavat tiedot voisi tulevaisuudessa saada automaattiajoneuvojen kannalta helpommin havaittavista kohteista, jos tieinfrastruktuuria kehitetään automaattiajoneuvot huomioiden.

Useissa lähteissä on listattu kohdetyyppejä, joita automaattiajoneuvoja varten tulisi olla saatavilla paikkatietoaineistoissa. Usein kohteille ei kuitenkaan ole esitetty tarkempia käyttötapauksia eli sitä minkä tehtävän suorittamiseen kohdetta tarvitaan tai kuinka sitä käytetään. Näin ollen kunkin kohdeluokan tärkeyttä ja välttämättömyyttä on vaikea arvioida.

Liikenneviraston Aurora-hankkeessa [42] on tutkittu arktisilla alueilla olemassa olevien teiden laserkeilaamista ja paikkatietoaineiston tuottamista automaattiajoneuvojen tarpeisiin. Hankkeessa tutkittuja kohteita ovat tien reuna, tiemerkinnot, kaistamerkinnot, varusteet (liikennemerkki, kaiteet, opastekilvet), laitteet (liikenteenohjauslaitteet), aurakepit, tien keskiviiva, kaarteisuus, tien pinnan korkeus, sorapiennar ja kolmiulotteinen aluomainen tiekuvaus. Hankkeessa kyseiset kohteet pyritään kartoittamaan alle 5 senttimetrin virhemarginaalilla. Hanke on vielä kesken. [42]

Aurora-hankkeeseen liittyvässä Maanmittauslaitoksen Arctic Positioning Navigation and Timing Innovation Platform: Nordic Hub based on the SNOWBOX Infrastructure -hankkeessa tutkitaan automaattiajoneuvojen navigointia ja tarkkaa paikannusta arktisissa olosuhteissa. Hanke on kesken eikä sen tuloksia ole vielä saatavilla, mutta tulevaisuudessa ne voivat vaikuttaa paikkatietoaineistolle asetettaviin laatuvaatimuksiin. [43]

2.8 Kiinteistöjen sisäänajoväylät

SAE-luokituksen tason 5 ajoneuvot pystyvät suoriutumaan koko ajomatkasta ilman kuljettajan osallistumista ajamiseen. Tämän vuoksi ajon päättyessä muualle kuin yleiselle tieverkolle eli esimerkiksi kiinteistön pihaan, tarvitaan automaattiajoneuvoa varten tiedot kiinteistöjen sisäänajoväylien sijainneista ja näihin liitetystä osoitteesta.

Osoitetietojen keräämisen ja saatavuuden parantamista suunnitellaan parhaillaan Paikkatietoalustahankkeen [44] Osoitetietojärjestelmä-osahankkeessa [45]. Osa-hankkeen tavoitteena on mm. kerätä ”kulkupisteitä, jotka osoittavat liittymän tieverkosta osoitteen mukaiseen kohteeseen” [45]. Hanke on kuitenkin toistaiseksi vasta valmisteluvaiheessa [44]. Kunta luo osoitteet ja ylläpitää niihin liittyviä tietoja [45], joten infrahankkeessa niitä ei suunnitella eikä mallinneta.

KMTK:n ja Digiroadin tietosisältöjen sekä mallinnusohjeiden mukaisten tietomallinnettavien kohteiden välisten suhteiden tunnistamisessa on tietolajeja pyritty tulkitsemaan väljästi, koska eri lähteet käyttävät toisistaan eroavia nimityksiä kohdeluokille. Lisäksi KMTK:n kohdemallista on ollut käytössä vain vasta luonnosasteelle oleva UML-kaavio, jossa ei kohdeluokan nimen ja ominaisuustietojen lisäksi ole saatavilla tarkempia tietoja kohteen sisällön määrittelystä. Aineistojen käyttämien nimitysten eroavaisuudet ja mahdolliset tulkintaepäselvyydet heikentävät infratietomalleista muodostettavan paikkatietoaineiston laatua, koska luokitteluvirheiden mahdollisuus lisääntyy. Lisäksi muodostetun aineiston edelleen hyödyntäminen toisen infrahankkeen tai kunnossapidon lähtötietoaineistona hankaloituu, jos kohteiden luokittelu ei ole vakioitua.

Tietomalleina suunniteltavat infrahankkeen kohteet on määritelty yleisissä inframallivaatimuksissa [6] sekä Liikenneviraston hankkeiden osalta YIV:a tarkentavassa suunnitteluohjeessa [5]. YIV:ssa määriteltyjen kohteiden ja automaattijoneuvojen vaatimukset on koottu taulukoon 3. Liikenneviraston tarkentavan ohjeen kohteet ja automaattijoneuvojen vaatimukset on koottu taulukoon 4. Useaan suunnitteluvaiheeseen mallinnettavaksi merkitty tietolaji tarkoittaa sitä, että tietolajin osalta suunnitelmaa tarkennetaan edelleen myöhemmässä suunnitteluvaiheessa. Yleis- ja tiesuunnitelmavaiheissa tietomalleihin ei vielä ole mallinnettu kaikkia automaattijoneuvojen tarvitsemia kohteita ja osa kohteista on suunniteltu vasta alustavalla tarkkuudella. Rakentamissuunnitelmavaiheessa infratietomallissa on jo mallinnettuna lähes kaikki kohteet, joita automaattijoneuvot tarvitsevat. Rakentamissuunnitelman tietomallissa on myös suuri osa niistä kohteista, joita KMTK ja Digiroad sisältävät jo nyt. Hankkeen vaiheita sekä niissä syntyviä infratietomalleja on esitetty kuvassa 8. Infratietomallista kuitenkin myös puuttuu monia kohteita, joita on nyt mukana KMTK:ssa tai Digiroadissa. Osa kohteista, joita ei ole tietomallissa, on mahdollista tuottaa aineistoon paikkatietoanalyysien avulla [7], mutta muita kohdeluokkia varten tulisi suunnittelu- ja tietomallinnusohjeita muuttaa, jotta myös ne suunniteltaisiin ja mallinnettaisiin tietomalleihin.



Kuva 8. Tietomalli osana hankkeen elinkaarta [6].

Taulukko 2. Digiroadin ja KMTK:n tietosisällöt sekä älyliikenteen vaatimukset.

Kohdetyyppi	Automaattiajo- neuvojen vaatimus	Digiroad	KMTK
Tielinkki	X	X	Tielinkki
Kääntymisrajoitus	X	X	
Joukkoliikenteen pysäkki		X	Raideliikennepysäkki
Esterakennelma	X	X	Aita.Portti, Puomi
Liikennevalo	X	X	
Suojatie	X	X	
Opastustaulu		X	
Rautatien tasoristeys	X	X	X
Metsäautotien kääntöpaikka		X	
Nopeusrajoitus	X	X	
Suurin sallittu massa	(Liikennemerkki)	X	
Yhdistelmän suurin sallittu massa	(Liikennemerkki)	X	
Suurin sallittu akselimassa	(Liikennemerkki)	X	
Suurin sallittu telimassa	(Liikennemerkki)	X	
Suurin sallittu korkeus	(Liikennemerkki)	X	
Ajoneuvon tai -yhdistelmän suurin sallittu pituus	(Liikennemerkki)	X	
Suurin sallittu leveys	(Liikennemerkki)	X	
Valaistu tie	X	X	
Päällystetty tie		X	Tielinkki.Paallyste
Kelirikko	X	X	
Leveys		X	X
Liikennemäärä	X	X	
Ruuhkaantumisherkkyys	X	X	
Ajoneuvokohtainen rajoitus	X	X	
VAK-rajoitus		X	
Kaistojen lukumäärä		X	
Joukkoliikennekaista		X	
Eurooppatien numero		X	
Liittymänumero		X	
Talvinopeusrajoitus		X	
Palvelu		X	Tiepalvelualue
Katukivetys	X		
Liikennemerkki	X	(Rajoitukset)	
Ajoratamaalaukset	X		
Talojen kulmat	X		Rakennus, Rakennelma
Kaiteet	X		Kaide
Meluidat	X		Aita.Meluaita, Aita.Meluvalli, Kaide.Melukaide
Kelitiedot	X		
Osoite kiinteistön sisäänaajoväylässä	X		

Taulukko 3. YIV2015-ohjeen mukaisesti tietomallinnettavat kohteet suunnittelu-
vaihekohtaisesti

Tietolaji	Yleis-suunnitelma	Tie-suunnitelma	Rakentamis-suunnitelma
Tielinkki	Väylän geometria, Ajoradan reunalinja	Väylän geometria, Ajoradan reunalinja	
Kääntymisrajoitus			Liikennemerkkit
Joukkoliikenteen pysäkki			
Esterakennelma			Portit, Puomit, Liikenne-esteet
Liikennevalo			Liikennevalot ja valo-opasteet
Suojatie			Tiementunnukset
Opastustaulu		Portaalit, Opastaulut	Opastusmerkit, Informaatiotaulut
Rautatien tasoristeys			
Metsäautotien kääntöpaikka			
Nopeusrajoitus			Liikennemerkkit
Suurin sallittu massa			Liikennemerkkit
Yhdistelmän suurin sallittu massa			Liikennemerkkit
Suurin sallittu akselimassa			Liikennemerkkit
Suurin sallittu telimassa			Liikennemerkkit
Suurin sallittu korkeus			Liikennemerkkit
Ajoneuvon tai -yhdistelmän suurin sallittu pituus			Liikennemerkkit
Suurin sallittu leveys			Liikennemerkkit
Valaistu tie	Aluerajaus	Aluerajaus, Valaisin-pylväät liikimääräisesti	Valaisinpylväät
Päällystetty tie			
Kelirikko			
Leveys			
Liikennemäärä			
Ruuhkaantumisherkkyys			
Ajoneuvokohtainen rajoitus			Liikennemerkkit
VAK-rajoitus			
Kaistojen lukumäärä			
Joukkoliikennekaista			
Eurooppatien numero			
Liittymänumero			
Talvinopeusrajoitus			
Palvelu			
Katukivetyk	Reunakiviliinat	Reunakiviliinat	
Liikennemerkkit			Liikennemerkkit
Ajoratamaalaukset		Kaistaviivat ja muut merkittävät ajoratamerkinnot	Tiementunnukset
Talojen kulmat			
Kaiteet		Tiekaiteet	Kaiteet
Melulaidat	Meluvalli	Meluvalli	Aidat
Kelitiedot			
Osoite kiinteistön sisäänajoväylässä			

Taulukko 4. Liikenneviraston tietomalliohjeen mukaisesti tietomallinnettavat kohteet suunnitteluvaihekohtaisesti.

Tietolaji	Yleis-suunnitelma	Tie-Suunnitelma	Rakentamis-suunnitelma
Tielinkki	Väylän geometria	Väylän pysty- ja vaakageometria	Pinnan geometria
Kääntymisrajoitus		Liikenteenohjaus	
Joukkoliikenteen pysäkki	Geometriassa		
Esterakennelma		Turvallisuusrakenteet	Aidat, puomit, portit
Liikennevalo		Liikenteenohjaus	Liikennevalot
Suojatie			Liikennemerkit
Opastustaulu		Opastusjärjestelmät	Opastustaulut
Rautatien tasoristeys			
Metsäautotien kääntöpaikka			
Nopeusrajoitus		Liikenteenohjaus	Liikennemerkit
Suurin sallittu massa			Liikennemerkit
Yhdistelmän suurin sallittu massa			Liikennemerkit
Suurin sallittu akselimassa			Liikennemerkit
Suurin sallittu telimassa			Liikennemerkit
Suurin sallittu korkeus			Liikennemerkit
Ajoneuvon tai -yhdistelmän suurin sallittu pituus			Liikennemerkit
Suurin sallittu leveys			Liikennemerkit
Valaistu tie		Sähkötekniset järjestelmät	Valaistusrakenteet
Päällystetty tie	Väylän päällysteet	Päällysrakenteet	Päällysrakenteet
Kelirikko			
Leveys			
Liikennemäärä			
Ruuhkaantumisherkkyys			
Ajoneuvokohtainen rajoitus			
VAK-rajoitus			
Kaistojen lukumäärä			
Joukkoliikennekaista			
Eurooppatien numero			
Liittymänumero			
Talvinopeusrajoitus			
Palvelu			
Katukivetys			
Liikennemerkit		Liikenteenohjaus	Liikennemerkit
Ajoratamaalaukset			Tiimerkinnät
Talojen kulmat			
Kaiteet		Turvallisuusrakenteet	Kaiteet, johteet, törmäyssuojat
Meluaidat		Ympäristörakenteet	Ympäristörakenteet
Kelitiedot			
Osoite kiinteistön sisäänaoväylässä			

3.2 Inframalleista saatavan aineiston laatu

InfraRYL [21] määrittää suurimmat sallitut sijaintipoikkeamat hankkeessa rakennettaville kohteille. Sallittu sijaintipoikkeama on samalla suurin mahdollinen sijaintivirhe suunnitelma-aineiston ja rakennetun kohteen välillä. Rakennettua kohdetta voidaan korjata, jotta sijaintipoikkeama saadaan pienennettyä sallittuihin rajoihin [21]. Mikäli suunnitelman mukainen rakentaminen ei ole mahdollista, tulisi kohde suunnitella uudestaan niin, että se on rakennettavissa sallittujen sijaintipoikkeamien mukaisesti.

Tarvittava laatutaso automaattiajoneuvoja varten saadaan Innamaa ym. tutkimuksessaan [35] määrittelemästä vaihteluvälistä tiestä ja ajoneuvosta riippuen. Kokonaisuudessaan virhe ajoneuvon todellisen ja halutun sijainnin välillä muodostuu kolmesta osasta, jotka ovat aineisto-, paikannus- ja ohjausvirhe. Virhe poikkisuunnassa saa olla 0,38–1,35 m, [35] jolloin ajoneuvo vielä pysyy omalla kaistallaan. Sallitun virheen suuruus riippuu käytetystä ajoneuvosta ja tieluokasta. Pienin kokonaisvirhe vaaditaan silloin kun tie on kapea ja ajoneuvo leveä, esimerkiksi kuorma-auto taajamassa. Mikäli eri virhetyyppien todennäköisin suuruus on sama, voidaan olettaa että aineistovirhe saa olla korkeintaan yksi kolmasosa kokonaisvirheestä. Tällöin aineistovirheen osuudeksi jäisi noin 127–450 mm tien ja ajoneuvon leveydestä riippuen. Aurora-hankkeessa aineistoa kuitenkin pyritään keräämään tätä tarkemmalla 50 mm virhemarginaalilla [42]. Parhaiden ajoneuvopaikannusmenetelmien tarkkuus on kuitenkin vain yksi senttimetri [37], joten kaikkien virhetyyppien osuus ei välttämättä todellisuudessa ole yhtä suuri ja sijaintitarkkuuden vaatimus voi poiketa tässä käytetystä arvosta.

InfraRYL ei määritä kaikille kohteille yksiselitteistä vaadittua sijaintitarkkuutta. Tarkkuusvaatimus on kuitenkin määritelty useille tässä työssä käsiteltäville kohteille. Taulukossa 5 on esitetty sallitut sijaintipoikkeamat InfraRYL:n mukaisesti niille kohteille, joille se on yksiselitteisesti määritelty. [21]

Taulukko 5. InfraRYL määrittelemiä sallittuja poikkeamia rakennettavien kohteiden sijainnissa [21].

Kohde	Sijaintitarkkuus (mm)
Meluseinä (maantiellä)	100
Meluseinä (kaupunkialueella)	50
Silta (moottori-, moottoriliikenne- ja valtatie)	40
Silta (muut)	80
Liikennemerkki (taajama)	2000 (pituussuunnassa)
Liikennemerkki (muualla)	6000 (pituussuunnassa)
Kaide	50 (poikkisuunnassa) 20 (korkeus)
Valaisinpylväs	100 (poikkisuunnassa)
Tiementä	50 (poikkisuunnassa)
Tiementä (nuoli, symboli, merkintäryhmä)	100 (poikkisuunnassa) 200 (pituussuunnassa) 1000 (pituussuunnassa, jos sijainti ei vaikuta tulkintaan)

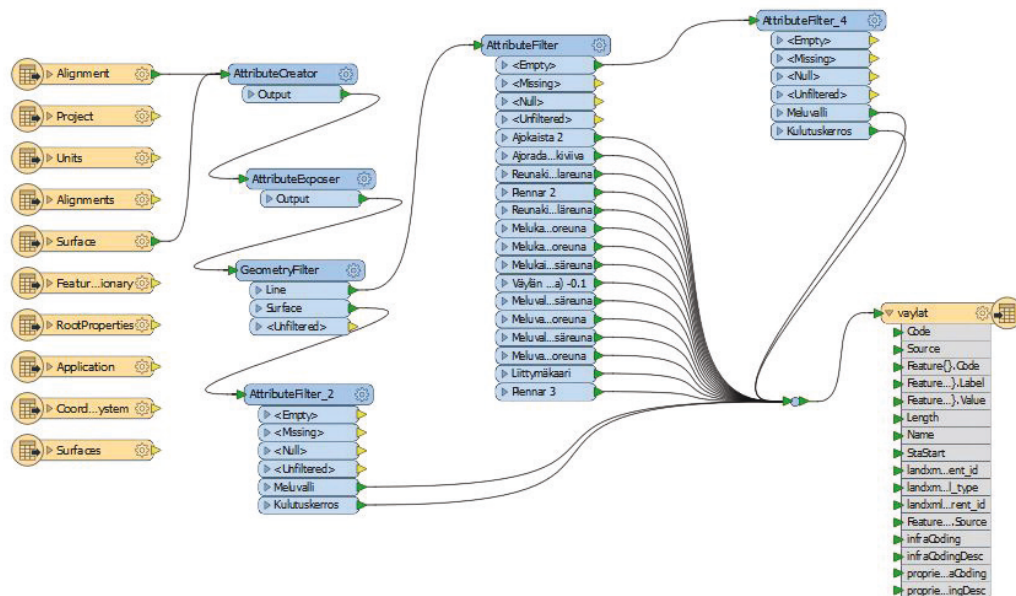
Useimmat määritellyistä sijaintipoikkeamista ovat alle virheelle oletetun pienimmän 127 mm rajan. Useilla kohteilla tarkkuus on sama tai pienempi kuin Aurora-hankkeessa tavoiteltu 50 mm sijaintitarkkuus. Siltoja lukuun ottamatta suurimmat sallitut sijaintipoikkeamat ovat pienimpiä taajamassa, jossa myös vaadittu paikannustarkkuus automaattijoneuvon kaistalla pysymiseksi on pienin [21, 35].

Automaattijoneuvojen hyödyntämä GPS-paikannus käyttää WGS84-koordinaatistoa ja Liikenneviraston hankkeet ovat yleensä ETRS-koordinaatistossa. Paikkatietoaineisto tai paikannuksesta saatu tulos on siis muunnettava toiseen koordinaatistoon, jotta niitä voidaan hyödyntää yhdessä. WGS84- ja ETRS-koordinaatistojen välinen ero on muutamia senttimetrejä. [47] Aineiston sijaintivirhe muunnosten jälkeen on siis InfraRYL-määräysten mukainen enimmäispoikkeama lisättynä muunnoksen virheellä. Useimpien kohteiden määritelty sijaintipoikkeama on myös muunnosvirheen lisäämisen jälkeen alle laatuvaatimukseksi asetetun 127 mm rajan. Hankkeissa voidaan käyttää myös muita koordinaatistoja [5], jolloin muunnoksista aiheutuva virhe ja siitä seuraava sijaintitarkkuus tulee arvioida käytettyjen koordinaatistojen ja muunnosmenetelmien mukaisesti.

Suunnitelmat valmistuvat ennen tien valmistumista, joten suunnitelmatiedoista voidaan jo etukäteen muokata paikkatietoaineisto, joka on hankkeen valmistuessa heti otettavissa käyttöön. Näin ollen aineistosta on mahdollista saada ajantasainen. Ennakoivasti tuotettu aineisto tulee kuitenkin muodostaa vasta kun suunnitelmat ovat riittävän tarkkoja tai aineisto tulee päivittää, jos suunnitelmiin tulee muutoksia.

3.3 Inframalleista tuotettava paikkatietoaineisto

Tässä työssä Valtatie 12 Lahden eteläinen kehätie -hankkeen tiesuunnitelmavaiheen suunnitteluaineistosta InfraModel- ja DWG-formaateissa tuotettu tietomalliaineisto on muunnettu yleisesti käytetyllä Safe Softwaren FME-ohjelmistolla paikkatietomuotoon. Muunnokseen on poimittu tietomallista vain niitä kohteita, joita aiemmin on todettu tarpeellisiksi automaattijoneuvojen vaatimusten mukaisesti, vaikka infratietomalleista olisi saatavissa myös muita esimerkiksi pelastustoimen tai kunnossapidon tarvitsemia tietoja. Kuva 9 on kuvakaappaus aineiston irrotukseen käytetystä FME-työtilasta. Aineisto on tuotettu GML-formaattiin, koska se on yleisesti hyödynnetty avoin formaatti. Varsinainen tiedostomuoto ei ole tämän tutkimuksen kannalta olennainen, koska tutkimus keskittyy aineistojen tietosisältöihin ja riittää, että valittu formaatti mahdollistaa näiden kohteiden tallentamisen. Käytetty ohjelmisto kuitenkin mahdollistaisi aineiston tuottamisen lähes kaikissa laajalti tunnetuissa paikkatietoformaateissa.



Kuva 9. Kuvakaappaus FME-työtilasta, jossa InfraModel-tiedostoista on poimittu tarvittavia kohteita.

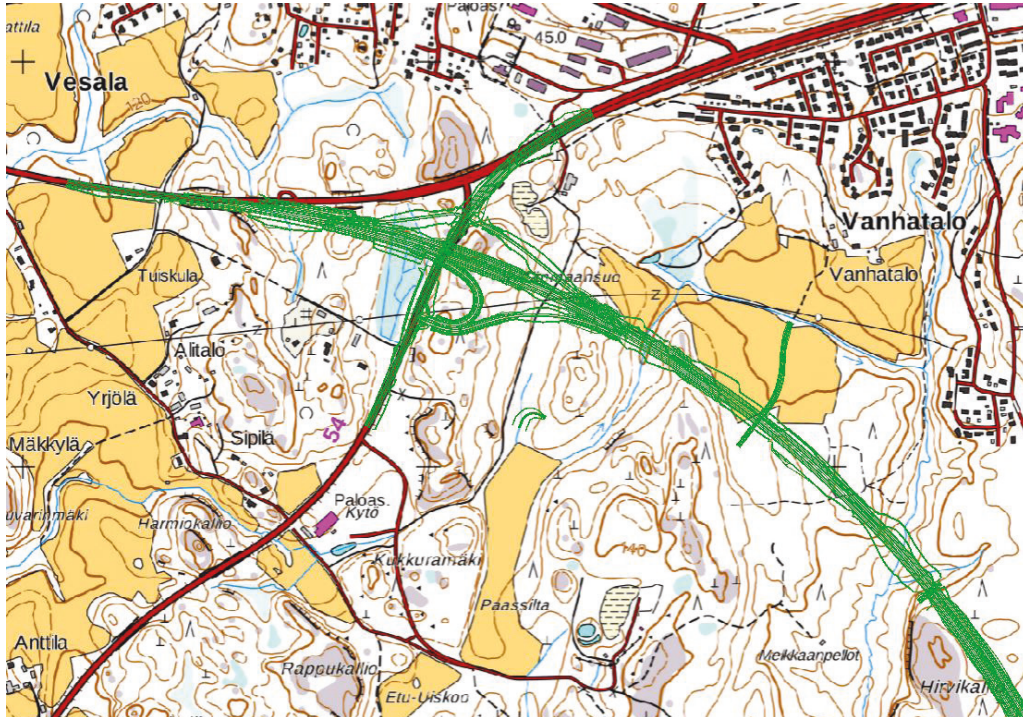
Aineisto on väylien osalta tuotettu GML versioihin 2.1.2, 3.1.1 Simple Features Level SF-0 ja 3.1.1. Näistä vain versio 3.1.1 tukee kaarien siirtoa, muut versiot ovat yksinkertaisemmassa ja helpommin luettavassa muodossa, jossa kaaret on korvattu murtoviivoilla. Ilman kaaria tuotettuja aineistoversioita voi hyödyntää paikkatietoaineistona, mutta ei väyläsuunnittelun geometriana. Valaistus- ja viitoitusaineistot on tuotettu pelkästään GML 3.1.1 -versiona, koska nämä suunnitelma-aineistot olivat saatavilla vain DWG-formaatissa eikä niissä siksi ole monimutkaisia geometrioita tai ominaisuustietoja.

Kaarien muuttaminen murtoviivoiksi huonontaa kohteiden sijaintitarkkuutta, koska murtoviiva on kaaren approksimaatio, joka ei täydellisesti seuraa todellista geometriaa. Myös muu yleistäminen, kuten reunaviivageometrioiden korvaaminen keskilinjageometrialla, huonontaisi aineiston laatua [23].

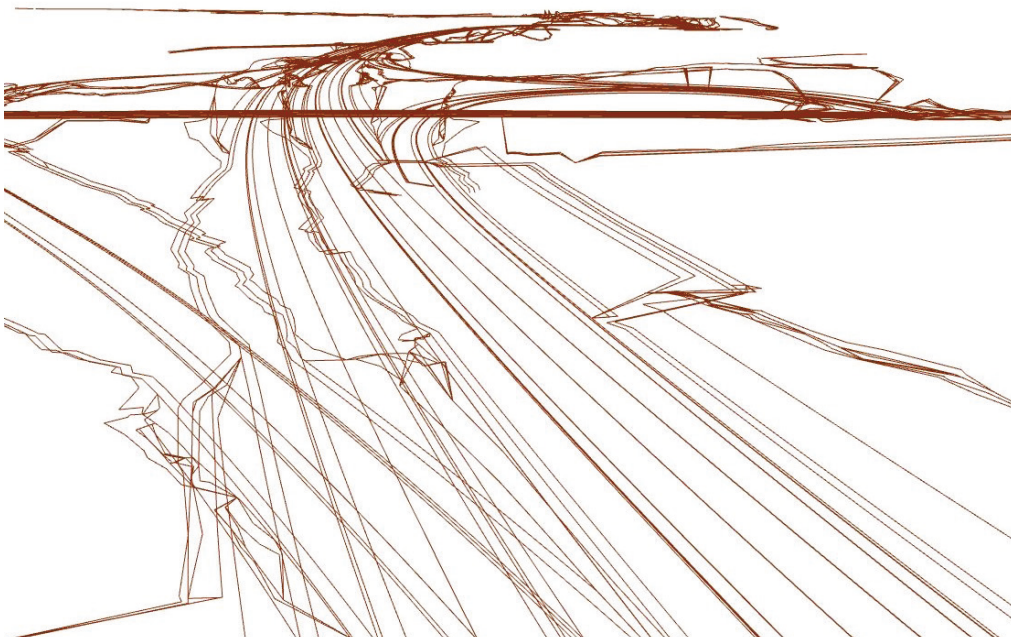
Suunnitelma-aineistosta on irrotettu ominaisuustietoineen kaistojen keskilinjat, päällysteen reunat, ajoratojen reunaviivat, reunakivet ja meluvalit. Lisäksi ilman ominaisuustietoja on irrotettu valaistusten tieosien geometriat sekä liikenteenohjausportaalien sijainnit. Kohteet ovat ne, joita YIV-ohjeen mukaan tiesuunnitelma-vaiheessa tulee suunnitella tietomallintamalla [6]. Kohteilla ei ole pysyviä tunnistetietoja. Kohteiden luokittelu ja ominaisuustiedot eivät ole suoraan yhteensopivia KMTK:n tai Digiroadin nykyisen tietomallin kanssa.

Aineiston tuottamisen tarkoituksena on varmistaa, että inframallivaatimusten mukaisesti tietomallintamalla suunniteltavat kohteet ovat saatavilla tietomallista. Lisäksi aineistoa on mahdollista käyttää KMTK-hankkeen aineistoprosessien kehittämiseen ja testaamiseen. Tuotettuun aineistoon on poimittu kohteita tietomallista sellaisena kuin ne on mallinnettu. Paikkatietoaineisto on kokonaisuudessaan kolmiulotteinen, mutta siinä on joitain kohteita, joilla on korkeuskoordinaatin arvona nolla. Irrotuksessa ei ole tehty koordinaatistomuunnoksia, joten tuotettu aineisto on hankkeen suunnitelma-koordinaatistossa ETRS-Gk27. Aineiston laatua ei ole varmistettu esimerkiksi vertaamalla sitä muihin samalta alueelta tuotettuihin aineistoihin.

Kuvassa 10 on esitetty ote Vt 12 -hankkeen infratietomallista [20] irrotetusta aineistosta ja siinä näkyvät viivoina ja kolmiopintoina kohteet, joita lähtöaineistosta on valittu automaattijoneuvojen tarpeiden mukaisesti. Vaikka paikkatietoaineiston sijaintitarkkuutta ei olekaan erityisesti varmistettu, nähdään kuvasta kuitenkin, että suunnittelualueen reunalla suunnitellut kohteet loppuvat taustakartassa näkyvien olemassa olevien tielinjausten mukaisiin sijainteihin. Kuvassa esitetty kohta on sama kuin katselumallista otetussa kuvassa 4, joka on kuvattu lännestä. Samaa osaa suunnittelualueesta on myös kuvassa 11, jossa irrotettu aineisto on esitetty kolmiulotteisena.



Kuva 10. Ote Vt 12 -hankkeen infratietomallista [20] irrotetusta aineistosta vihreinä viivoina. Taustakarttana Maanmittauslaitoksen peruskartta [46].



Kuva 11. Ote Vt 12 -hankkeen infratietomallista [20] irrotetusta aineistosta. Katselusuunta lännestä. Vrt. kuva 4 sivulla 30, jossa on kuvattu samaa aluetta.

Huotari on pro gradu -tutkielmassaan todennut paikkatieto-ohjelmistojen analyysitoimintojen mahdollistavan sekä aineiston laadun parantamisen että sellaisten tietojen tuottamisen paikkatietoaineistoon, joita infratietomallissa ei valmiiksi ole suunniteltuna. Esimerkiksi tien leveyttä ei ole tietomallissa kohteen ominaisuustietona, mutta se on laskettavissa paikkatietoanalyysinä tien reunaviivojen sijainneista. [7]

Osa tässä tuotettuun aineistoon sisältyvistä kohteista olisi mahdollista muuttaa myös toisten kohteiden ominaisuustiedoiksi. Esimerkiksi ajoneuvo voi tarvita tiedon siitä onko tieosalla maalattuja reunaviivoja, mutta se ei välttämättä tarvitse näiden täydellisiä geometriatietoja. Liikennetilanteissa on paljon havainnoitavia asioita, joita ei voi suunnitella etukäteen, joten automaattiajoneuvo joka tapauksessa joutuu omilla sensoreillaan havainnoimaan ympäristöä ja tunnistamaan kohteet, vaikka niiden geometria olisikin etukäteen tiedossa [27]. Tällöin erillisenä kohteena kuvatus reunaviivan voisi kuvata myös reitittyvän tietogeometrian ominaisuustietona ilman että automaattiajoneuvon toiminta vaikeutuu. Tämä pienentäisi aineiston kokoa ja helpottaisi sen reaaliaikaista siirtoa ajoneuvoihin. Aineiston käyttöä voisi helpottaa myös muulla käsittelyllä, esimerkiksi liikennemerkeistä voisi johtaa tieosan nopeusrajoituksen tai väistämisvelvollisuudet risteyksessä. Kohteiden yksinkertaistaminen, yhdistely, karsiminen sekä tiedon jalostaminen on kuitenkin mahdollista myös KMTK:n aineistoprosessissa, joten tässä työssä on pyritty tuottamaan aineisto mahdollisimman tarkkana ja yksityiskohtaisena. Infratietomallien sekä KMTK:n ja Digiroadin kohdemallit eivät ole keskenään yhteensopivia, joten aineiston tuotannossa joudutaan tekemään muunnos kohdemallien välillä.

Paikkatietoaineiston luominen infratietomallista edellyttää tietomallin sisällön ja tarkoituksen tietämistä, jotta luotavasta aineistosta tulee laadukas. Infratietomalli on ensisijaisesti hankkeen rakentamista varten, joten sen sisältö ja muoto on tehty siihen sopivaksi. Erityisesti temaattisen laadun osalta tulee varmistua siitä, että tietomallista luetut kohteet vastaavat paikkatietoaineiston kohdemallin luokkia. Tietomallin kohteita joudutaan myös jatkojalostamaan, jotta niistä saadaan paikkatietona hyödynnettäviä kohteita. Esimerkiksi kohteesta joka on mallinnettu pinnan taiteviivoina tulee muodostaa kolmiulotteinen kappale tai kohteen pinnat, jotta niitä voidaan tehokkaasti hyödyntää. Lisäksi poistettaviksi mallinnetut kohteet tulee huomioida erikseen, jotta päivityksessä aineistoon ei jää purettuja kohteita

4 Tulokset

4.1 Tietolajit

Automaattisten ajoneuvojen kannalta tärkeistä paikkatietokohteista on jo nyt suurin osa mukana KMTK:n ja Digiroadin yhteisessä tietosisällössä. Tarpeellisia, mutta puuttuvia, tietolajeja ovat vain katukivetysten ja ajoratamaalausten sijainnit, osittain liikennemerkkit, kiinteistön sisäänajoväylään liitetyt osoitteet sekä reaaliaikaiset keli- ja liikennetiedot, jotka tulisi lisätä KMTK:n ja Digiroadin yhteiseen tietosisältöön. KMTK:n ja Digiroadin välisiä suhteita ei vielä ole määritelty, mutta KMTK:n tavoitteena on, että tietoja ylläpidetään vain yhdessä paikassa ja yhteisten pysyvien tunnusten avulla eri lähteistä saatavia tietoja voidaan yhdistää laajemmaksi kokonaisuudeksi [1]. Tässä työssä ei määritelty kumpaan aineistoon puuttuvat tiedot tulisi lisätä, vaan tämä jää ratkaistavaksi KMTK:n ja Digiroadin välisesti.

Puuttuvista tietolajeista katukivetysten ja ajoratamaalausten sijainnit ovat saatavissa infratietomalleista. Myös liikennemerkkien sijainnit ovat saatavilla suunnitelma-aineistoista, mutta ne toimitetaan toistaiseksi vain DWG-formaatissa, josta ei saada kuin liikennemerkkin sijainti. Varsinainen merkin sisältö on toimitettavassa aineistossa vain kuvana, joten se ei ole helposti automatisoitavalla tavalla saatavilla suunnitelma-aineistosta. Liikennemerkkeistä on Digiroadissa toistaiseksi lähinnä vain rajoituksia [3], mutta automaattiajoneuvot tarvitsevat kattavasti kaikki liikennemerkkit.

Osa hankkeen suunnitelmista toimitetaan DWG-tiedostoina, piirustuksina, teksti-muotoisina selostuksina sekä taulukoina. Näiden yhdistäminen ja jatkokäyttö muuten kuin tietoja manuaalisesti yhdistelemällä on hankalaa, joten muissa kuin tietomalli-formaateissa toimitettavien suunnitelmien tekoa ja toimittamista tietomalleina tulisi harkita, vaikka se saattaakin lisätä suunnittelijoilta vaadittavaa työtä.

Automaattiajoneuvojen tarvitsemista kohdeluokista kokonaan puuttuvat vain kiinteistön sisäänajoväylään liitetyt osoitteet sekä reaaliaikaiset keli- ja liikennetiedot. Keli- ja liikennetiedot ovat jatkuvasti muuttuvia eikä niitä voida siksi tuottaa paikkatieto-aineistoon. Näitä tietoja varten tarvitaan reaaliaikainen rajapinta, josta ajoneuvo voi lukea tarvitsemansa tiedot. Aineistossa tulisi kuitenkin olla pysyvät tunnistetiedot, jotta tiedot voidaan kohdistaa oikealle tieosalle.

KMTK:n ja Digiroadin nykyisen kohdemallin kaikkia kohteita ei ole suunniteltu ja mallinnettu tietomalleihin. Näiden lisääminen infratietomalleihin vaatisi suunnittelu- ja mallinnusohjeiden muuttamista. Tietomalleihin mallinnetaan pisteitä, viivoja ja kolmiopintoja, mutta ei loogisia kohteista kuten joukkoliikennepysäkki tai risteys, joiden lisääminen aineistoon tulee tehdä aineiston muunnosprosessissa, jos niitä tarvitaan. Lisääntyvä suunnittelu ja tietomallintaminen kuitenkin lisääisi työtä, jota eri suunnitteluvaiheissa joudutaan tekemään eikä varsinkaan hankkeen alkuvaiheen suunnitelmien kuulukaan olla kovin yksityiskohtaisia. Suunnittelu- ja mallinnuskäytäntöjen kehittämistä tulisi kuitenkin selvittää, jotta suunnitelmista voidaan tulevaisuudessa tehdä entistä käyttökelpoisempia ilman että hankkeissa tehtävä suunnittelutyö tarpeettomasti vaikeutuu tai lisääntyy.

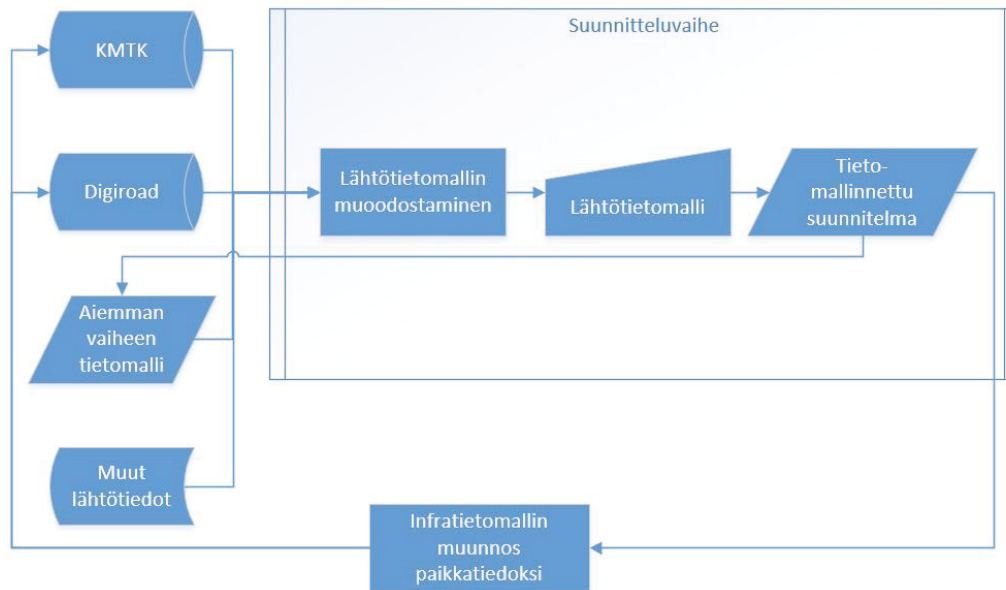
Osoitetietojen parantamista suunnitellaan parhaillaan Paikkatietoalusta-hankkeen [44] Osoitetietojärjestelmä-osahankkeessa [45], joten tulevaisuudessa automaattiajoneuvojen on mahdollista saada näitä tietoja paikkatietoalustan kautta. Hanke on kuitenkin toistaiseksi vasta valmisteluvaiheessa [44]. Kiinteistöjen sisäänajovyliin liitetyt osoitetiedot tulevat joka tapauksessa olemaan olennaisia tason 5 täysin automaattisille ajoneuvoille, jotta automatiikka voi suorittaa ajamisen aivan loppuun saakka.

4.2 Paikkatietoaineisto

Infratietomalleista muodostettavan paikkatietoaineiston sijaintitarkkuus on lähes kaikkien kohdeluokkien osalta riittävä automaattiajoneuvojen tarpeisiin, ainakin poikkisuunnassa kaistalla pysymisen tueksi, jos rakentamisessa noudatetaan InfraRYL-määräysten vaatimuksia suurimmista sallituista poikkeamista. Tietomallin sisältö ei kuitenkaan välttämättä ole täydellinen, koska suunnitelma-aineistoihin mallinnetaan vain rakennettavat tai korjattavat kohteet. Siten lähtötietojen täydellisyydestä riippuen tietomalli ei välttämättä sisällä kaikkia hankkeen alueella jo olevia kohteita. Suunnitteluaineistosta on mahdollista rakentamisen jälkeen luoda toteumamalli, jossa kohteiden toteutuneet sijainnit on tarkistusmitattu. Tällaisen mallin käyttäminen parantaisi tuotettavan aineiston laatua, koska malli varmistetusti vastaa toteumaa. Käytännössä paikkatietoaineistoa kannattaa tuottaa vasta, kun hankkeen toteutuminen on varmistunut eli rakennussuunnitteluvaiheen aikana. Tällöin suunnitelmat ovat myös tarkempia kuin aiemmissa vaiheissa.

Tutkimuksen osana muodostettiin paikkatietoaineisto Valtatie 12 Lahden eteläinen kehätie -hankkeen tiesuunnitelmavaiheen suunnitteluaineistosta. Hankkeen tietomallien sisältö laajenee ja tarkentuu hankkeen edetessä, joten tarkinta ja täydellisintä paikkatietoaineistoa saisi tuotettua rakennussuunnitelma-, toteuma- tai ylläpito-malleista, mutta näitä ei vielä työn tekoajankohtana ollut käytettävissä. Tietomalleista saatavat tiedot riippuvat tietomallinnusohjeiden mukaisesti hankkeen vaiheesta.

KMTK ja Digiroad ovat nykytilaa kuvaavia osia hankkeen lähtötietomallista ja siten osa kaikkia myöhempien vaiheiden tietomalleja. Toisaalta KMTK:n ja Digiroadin lähtötietona voitaisiin hyödyntää etenkin rakennussuunnitelma-, toteuma- ja ylläpito-malleja, joten tiedonsiirto tietomallin ja paikkatietoaineistojen välillä on kaksisuuntaista ja sitä voi tapahtua useita kertoja, jos lähtötiedot muuttuvat suunnittelu aikana. Edestakaisin tapahtuvassa tietojen siirtämisessä ja päivittämisessä tulee kuitenkin varmistaa, etteivät toistuvat muunnokset esimerkiksi tiedostomuodosta tai koordinaatistosta toiseen vaikuta haitallisesti tiedon laatuun. Lisäksi tulee huomioida muutosten kohdistaminen oikeisiin kohteisiin sekä hallita mahdolliset samanaikaiset muutokset. Paikkatiedonkulku hankkeen suunnittelussa tietomalliin ja tietomallista takaisin paikkatietoaineistoksi on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Paikkatiedonkulku infrahankkeen suunnitteluvaiheessa.

Tässä työssä paikkatietoaineistoon saatiin irrotettua kaikkia niitä kohteita, joita tiesuunnitelmavaiheen tietomalleissa pitää YIV-ohjeiden mukaisesti olla mallinnettuna. Kaikissa hankkeissa ei välttämättä kuitenkaan suunnitella ja rakenneta kaikkia kohdetyppejä, joten pelkästään niiden puuttumisen perusteella ei voida arvioida onko suunnittelu- ja mallinnusohjeita noudatettu. Aineistoon irrotettiin suunnitelmasta tarpeellisia kohteita sellaisenaan. Jos jo suunnitteluvaiheessa kohteille annettaisiin yksilölliset tunnisteen, olisi sekä suunnitelmista muodostetun paikkatietoaineiston että suunnittelun lähtötietojen päivittäminen suunnittelutyön edetessä helpompaa, koska muutokset voitaisiin tunnisteen avulla kohdentaa oikeisiin kohteisiin.

Paikkatietoaineiston muodostamista infratietomalleista tulisi verrata esimerkiksi laserkeilaamalla muodostettuun aineistoon ainakin saavutetun laadun sekä vaaditun työmäärän osalta. Esimerkiksi Aurora-hankkeessa [42] saatavia tuloksia olisi mahdollista hyödyntää vertailun tekemisessä.

Automaattijoneuvojen käyttötapauksista kohteille ei kuitenkaan ole juurikaan tietoa, joten osaa tiedoista ei välttämättä tarvitsisi esittää omina kohteinaan, vaan ajoneuvolle voisi riittää esimerkiksi vain tieto siitä, että tiellä on kaistamaalaukset, mutta niiden varsinaisia sijainteja ei tarvita. Tarkkojen käyttötapauskuvausten puute haittaa myös kohdeluokkien tärkeyden ja välttämättömyyden arviointia, erityisesti, jos esimerkiksi aineiston koon tai ylläpidon vaikeuden vuoksi joitain harvoin tarvittuja kohdetyppejä haluttaisiin karsia. Tässä työssä aineistosta haluttiin kuitenkin tehdä mahdollisimman tarkka, koska sen yleistäminen ja yksinkertaistaminen jälkikäteen KMTK:n ja Digiroadin aineistontuotantoprosesseissa on mahdollista. Paikkatietoaineistojen käyttötapauksia ja mahdollista standardointia automaattijoneuvojen käyttötarkoituksia varten tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin esimerkiksi EU:n laajuisissa hankkeissa, koska laajalti yhtenäiset tietoaineistot olisivat helpommin hyödynnettävissä.

Aiempaa tarkempi ja yksityiskohtaisempi paikkatietoaineisto voi mahdollistaa uusia käyttötapoja, jotka eivät aiemmin ole olleet mahdollisia. Ajoneuvo voisi esimerkiksi laskea lumen peitossa olevan kaistan reunaviivan sijainnin näkyvillä olevan kaiteen tai muun kohteen sijainnista, jos näiden kohteiden keskinäiset sijainnit ovat etukäteen tarkasti tiedossa. Aineistoon on mahdollista myös paikkatietoanalyysien avulla tuottaa lisää tietoa, jota ei tietomalliin ole suunniteltu. Esimerkiksi Digiroadissa tietolajina oleva tien leveys on mahdollista laskea tien reunaviivojen sijaintien perusteella [7].

Tiegeometriat suunnitellaan tarkkuuden vuoksi kaarina. Kaikki paikkatietoformaattit eivät kuitenkaan tue kaarien tallentamista, jolloin kaaret usein korvataan niitä mukailevilla murtoviivoilla. Paikkatietoaineiston kannalta kaarien korvaaminen murtoviivoilla ei välttämättä ole merkittävä ongelma, vaikka se sijaintitarkkuutta heikentääkin, mutta siitä voi olla haittaa, jos aineistoa halutaan myöhemmin käyttää toisen infrahankkeen lähtötietona. Tietojen siirtoon ja päivittämiseen eri käyttäjien ja järjestelmien välillä tarvitaan myös pysyvä yksilöllinen tunniste jokaiselle aineiston kohteelle, jotta päivitykset voidaan kohdistaa oikeisiin kohteisiin.

Tulevaisuudessa voi olla mahdollista saada aineistoon korjauksia suoraan sitä hyödyntäviltä automaattiajoneuvoilta, jotka sensoreillaan havaitsevat olosuhteiden poikkeavan käytetystä paikkatietoaineistosta [34]. Myös tätä tarkoitusta varten kohteilla tulisi olla pysyvät tunnistetiedot. Tiedonsiirtoon aineiston tarjoajan ja ajoneuvojen välillä tarvitaan tietoturallinen ja riittävän nopea tietoliikenneyhteys [4]. Ajoneuvoista kerättyjen tietojen käyttäminen paikkatietoaineiston luomiseen tai parantamiseen on yksityisyyden suojan kannalta ongelmallista sekä ajoneuvojen liikkeen seuraamisen että ajoneuvon kameroiden ottamiin kuviin mahdollisesti tallentuneiden henkilöiden vuoksi [37].

Saatavilla olevien tietoliikenneyhteyksien nopeus ja luotettavuus voivat rajoittaa paikkatiedon reaaliaikaista päivittämistä, jolloin aineistoa voi olla tarpeen karsia tai yleistää, jotta se saadaan siirrettyä ajoneuvoon riittävällä nopeudella. Tällöin kuitenkin tulisi tietää tarkemmin ne käyttötapaukset, joihin automaattiajoneuvot hyödyntävät aineistoihin sisältyviä kohteita, jotta aineiston kokoa voitaisiin pienentää heikentämättä sen käyttökelpoisuutta. Toistaiseksi on myös epäselvää, kannattaako paikkatiedon käsittelyä hajauttaa ajoneuvoihin vai keskittää esimerkiksi pilvipalveluksi [37].

4.3 Aineiston käyttökelpoisuus

Tietomalleista muodostettavat paikkatietoaineistot voivat kattaa vain alueita, jotka on suunniteltu tietomallintamalla, joten tällä tavalla ei voida luoda koko maan kattavaa aineistoa. SAE-tasojen 3 ja 4 ajoneuvot voivat toimia automaattisesti vain tietyissä olosuhteissa, joissa automatiikan tiedetään selviytyvän ajamisesta [31]. Infratietomallintamalla suunnitellun hankkeen tuloksena syntyneet tie ja paikkatietoaineisto voisivat muodostaa alueen, jossa tason 3 tai 4 ajoneuvo pystyy toimimaan automaattisesti, jos muutkin olosuhteet ovat ajoneuvolle sopivat. Näin ollen paikkatietoaineiston, tai sen tietyn kohdeluokan, täydellisen alueellisen kattavuuden puute ei tee tuotetusta aineistosta käyttökelvotonta, kun aineiston laatu määritellyllä alueella on riittävä automaattiajoneuvon käyttöön. Aineistosta täytyy silloin kuitenkin käydä yksiselitteisesti ilmi se, millä alueella mitään kohdeluokkia on saatavilla.

Teiden rakentamiseen keskittyvien infratietomallien käyttämä nimikkeistö kohteiden luokitteluun ei ole kaikilta osin sopiva paikkatietoaineistojen tarpeisiin eikä tutkituissa aineistoissa käytetä yhteistä nimikkeistöä. Yleinen infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö tulisi kehittää ja ottaa käyttöön, jotta nimikkeistöjen ja aineistojen käyttö olisi helpompaa ja muodostettavien paikkatietoaineistojen laatu parantuisi luokitteluvirheiden määrän vähentyessä [24]. Infratietomallien ja KMTK:n sekä Digiroadin nimikkeistöjen ja kohdemallien väliset suhteet pitäisi määritellä tarkasti, jotta infratietomallin sisältä voitaisiin automatisoidusti viedä osaksi KMTK- ja Digiroad-aineistoja. Kaikissa Liikenneviraston hankkeissa käytetään samoja suunnittelu- ja mallinnusohjeita, joten nimistöjen vastaavuudet tulisi määritellä vain kerran, jonka jälkeen samoja määrittelyjä voidaan hyödyntää muiden hankkeiden tietomallinnettujen suunnitelmien viemisessä paikkatietoaineistoksi.

Kohteiden siirtoa eri aineistojen ja käyttäjien välillä helpottaisi, jos sekä paikkatietoaineistoissa että infratietomalleissa käytettäisiin kohteille pysyviä tunnisteita. Näin kohteisiin tehdyt päivitykset olisivat kohdistettavissa oikein aineistojen päivitettäessä ja siirrettäessä. Pysyvien tunnusten luontia on tutkittu ainakin KMTK-hankkeessa [8, 9], mutta myös infratietomallien olisi hyvä tukea pysyviä tunnisteita, ainakin mikäli niitä on lähtöaineistossa ollut.

Tässä työssä KMTK:n ja Digiroadin tietosisältöjä on tarkasteltu vain automaattiajoneuvojen tarpeiden kannalta. Muillakin käyttäjillä, kuten esimerkiksi älyliikenne laajemmin, kunnossapito tai pelastustoimi, on osin samankaltaisia tarpeita kuin automaattisilla ajoneuvoilla. Myös näiden käyttötapausten tulevaisuuden tarpeita aineistoille tulisi selvittää tarkemmin, jotta paikkatietoaineistoista saadaan muodostettua monenlaista käyttöä palvelevia aineistoja.

Työssä tuotettua paikkatietoaineistoa ei ole jalostettu suoraan yhteensopivaksi KMTK:n tai Digiroadin nykyiseen kohdemalliin, joten näiden aineistoprosesseissa sitä täytyy vielä edelleen muokata. Työn tuloksena syntynyt aineisto on kuitenkin sellainen, että saman muotoista ja sisältöistä aineistoa on mahdollista tuottaa myös kaikista muista Liikenneviraston tiehankkeissa tehdyistä suunnitelma-aineistoista.

Tiehankkeiden suunnittelussa on alettu SURAVAGE-prosessin [13] myötä tuottaa myös suunnitelma-aineistoja, joita ei tarvita varsinaiseen tien rakentamiseen vaan aineistoa tuotetaan jo varhaisessa vaiheessa paikkatietona käytettäväksi. Samankaltaisella prosessilla infrahankkeen suunnittelija voisi tuottaa jo ennakoivasti paikkatietoaineistoa suoraan KMTK:n ja Digiroadin yhteisen tietosisällön mukaisesti osana suunnittelua. Paikkatietoaineiston tuottamista hankkeessa osana infrasuunnittelua tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin, koska aineiston tuottaminen todennäköisesti lisää suunnittelijalta vaadittavaa työtä sekä osaamista. Myös vaadittu aineiston muoto ja tietosisältö tulisi määritellä, jotta hankkeet pystyisivät tuottamaan yhdenmukaista aineistoa. KMTK:n ja Digiroadin aineistoprosessien olisi kuitenkin hyvä pystyä hyödyntämään infratietomalleja myös sellaisenaan, jotta tietomallinnettuja suunnitelmia voidaan hyödyntää nopeammin osana paikkatietoaineiston tuotantoa.

5 Yhteenveto

Työssä selvitettiin kirjallisuuslähteiden avulla automaattiajoneuvojen tarpeita paikkatietoaineistoille sekä sitä, kuinka nykyiset KMTK- ja Digiroad-aineistot vastaavat näihin tarpeisiin. Suurin osa tarpeellisiksi katsotuista tietolajeista sisältyy jo KMTK- ja Digiroad-aineistoihin, mutta muutamia tarpeellisia tietoja, kuten ajoratamaalaukset, katukivetykset ja tarkemmat osoitetiedot tulisi lisätä aineistoihin. Lisäksi selvitettiin sekä nykyisten että tulevaisuudessa tarpeellisten tietolajien saatavuutta Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti tuotetuista infratietomalleista ja havaittiin, että suuri osa näistä on tuotettavissa tietomallinnetuista suunnitelmista. Rakentamisessa sallitut sijaintipoikkeamat havaittiin riittävän pieniksi, jotta suoraan suunnitelmätietomallista tuotettu paikkatietoaineisto on sijaintitarkkuudeltaan riittävää automaattiajoneuvojen käyttöön.

Suurimpia puutteita tietomalleissa paikkatietoaineiston lähtötietona on kiinteistöihin liitettyjen osoitetietojen puute, pysyvien tunnistetietojen puute sekä paikkatietoaineistojen ja tietomallien käyttämien nimikkeistöjen eroaminen toisistaan. Osoitetietojen tarkentamista tutkitaan parhaillaan Paikkatietoalusta-hankkeen osana [44, 45] ja KMTK-hankkeen osana on tutkittu pysyvien tunnusten [8, 9] luontia kohteille. Saarnikko on diplomityössään tutkinut ja suositellut infra-alan käyttämien nimikkeistöjen yhtenäistämistä [24].

Molemmat ongelmat ovat merkittäviä haittoja paikkatietoaineistojen käytettävyydelle ja niihin liittyviä menetelmiä ja käytäntöjä tulisikin kehittää. Osoitetietoihin liittyvät ongelmat saattavat ratketa Paikkatietoalusta-hankkeessa. Nimikkeistöihin liittyvät epäselvyydet voivat myös heikentää tietomalleista tuotettavan aineiston laatua, jos kohteita luokitellaan väärin epäselvien nimikkeiden vuoksi. Nimikkeistöjen osalta tulisi määritellä KMTK:n ja Digiroadin sisältämiä kohdeluokkia vastaavat nimikkeet yleisesti käytetyissä nimikkeistöissä tai ottaa näissä aineistoissa kohdeluokille käyttöön yleisen infraomaisuuden hallinnan nimikkeistön nimikkeet, jotta aineistoprosessit voidaan luotettavasti automatisoida ja samoja prosesseja voidaan hyödyntää eri hankkeiden tuottamien tietomallien lukemiseen.

Entistä tarkemmille ja laajemmille paikkatietoaineistoille on tulevaisuudessa tarvetta ainakin automaattiajoneuvoja varten. Näihin tarpeisiin liittyviä käyttötapoja tulisi kuitenkin edelleen tarkemmin selvittää, jotta aineistoihin voidaan tuottaa tarpeellisia tietoja käyttökelpoisessa muodossa. Myös aineistojen sisältöjen laajempaa yhtenäistämistä ja standardointia tulisi tutkia esimerkiksi EU:n laajuisissa hankkeissa. Samoin tulisi tutkia tarkemmin, millaista paikkatietoaineistoa infrahankkeista pitäisi tuottaa ja tuottaako hankkeen suunnittelija aineiston paikkatietomuotoon vai onko tietomallin muuntaminen paikkatiedoksi esimerkiksi Maanmittauslaitoksen prosesseihin liitettävä toimenpide.

Nimikkeistöihin liittyvien ongelmien vuoksi infratietomalleista ei vielä ole mahdollista tuottaa KMTK:n vaatimusten mukaista paikkatietoaineistoa, koska temaattinen laatu ei ole riittävä. Muutoin infratietomallit voisivat olla käyttökelpoinen lähde paikkatietoaineistojen luomiseen, vaikkei niitä tähän käyttötarkoitukseen olekaan suunniteltu. Siksi tietomallinnettujen suunnitelmien hyödyntämisessä tulee huomioida niiden alkuperäinen tarkoitus väylähanke rakentamisen suunnitelmina eikä muunnosta paikkatiedoksi voida vielä täysin automatisoida mm. paikkatietoaineiston temaattisen laadun takaamiseksi. Tietosisällön laajuus ja kohteiden sijaintitarkkuus ovat infratietomalleissa kuitenkin hyviä.

Viitteet

- [1] Maanmittauslaitos. Kansallinen maastotietokanta. <http://kmtk.maanmittauslaitos.fi/>. Viitattu: 10.7.2017.
- [2] Liikennevirasto. Digiroad. <http://www.liikennevirasto.fi/avoindata/digiroad>. Viitattu: 12.7.2017.
- [3] Liikennevirasto. *Digiroad — tietolajien kuvaus, Julkaisu 5/2016*. 2016.
- [4] Aki Lumiaho ja Fanny Malin. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2016: Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016—2020*. Helsinki, 2016.
- [5] Liikennevirasto. *Liikenneviraston ohjeita 12/2017: Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje*. Helsinki, 2017.
- [6] BuildingSMART Finland. *Yleiset inframallivaatimukset YIV2015*. 2015. <http://buildingsmart.fi/yiv/>.
- [7] Teijo Huotari. *Tieverkon tietomallien hyödyntäminen paikkatietojärjestelmissä*. Joensuu, 2016.
- [8] Maanmittauslaitos. *KMTK-MAASTOID/mä - Määrittelyraportti*. Helsinki, 2016.
- [9] Maanmittauslaitos. Kmtk-pysyväid. <http://kmtk.maanmittauslaitos.fi/kmtk-pysyv%C3%A4id>, 2016.
- [10] Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. *JHS 160 Paikkatiedon laadunhallinta*. 2012.
- [11] Liikennevirasto. *Tiensuunnittelun kulku*. 2010.
- [12] Rakennustieto. InfraBIM.] http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/. Viitattu: 25.10.2017.
- [13] Liikennevirasto. *Liikenneviraston ohjeita 7/2017: Ajantasaisen tie- ja katuverkon keskilinja-aineiston ylläpito Suomessa*. Helsinki, 2017.
- [14] Open Geospatial Consortium. CityGML. <https://www.citygml.org/>. Viitattu: 29.8.2017.
- [15] Open Geospatial Consortium. InfraGML. <http://www.opengeospatial.org/>. Viitattu: 29.8.2017.
- [16] Juha Liukas. Infran kansainvälinen standardointi. http://www.infra-o.fi/dokumentit/kickoff/04_Liukas_Juha.pdf, 2017.
- [17] Liikennevirasto. *Ohjeluettelo*. 2017.
- [18] Anna Partainen ja Ville Suntio. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2017: Digitaalinen luovutusaineisto*. Helsinki, 2017.
- [19] Liikennevirasto. *Liikenneviraston ohjeita 6/2014: Siltojen tietomalliohje*. Helsinki, 2014.
- [20] Liikennevirasto. Vt 12 lahden eteläinen kehätie. <https://www.liikennevirasto.fi/vt12letke>. Viitattu: 20.10.2017.
- [21] Rakennustieto. *InfraRYL -laatuvaatimusjärjestelmä 2017/1*. Helsinki, 2017.
- [22] Ulla Pyysalo. Puhelinkeskustelu. 10.4.2017.

- [23] Mohammed A. Quddus ja Nagendra R. Velaga. Enhancing vehicle positioning data through map-matching. Teoksessa Azim Eskandarian, toim., *Handbook of Intelligent Vehicles*, s. 343–364. Springer London, London, 2012.
- [24] Josefiina Saarnikko. *Infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö*. Espoo, 2016.
- [25] Maanmittauslaitos. *KMTK-kohdemalli (luonnos 19.5.2017)*. 2017.
- [26] Liikennevirasto. Digiroad on tärkeä aineistolähde navigaattoriyhtiöille. <http://www.liikennevirasto.fi/-/digiroad-on-tarkea-aineistolahde-navigaattoriyhtiöille>. Viitattu: 12.7.2017.
- [27] Juhani Jääskeläinen. Automaattiajoneuvot EU:ssa ja USAssa, Tilannekatsaus. https://tapahtumat.tekes.fi/uploads/c8c41946/Juhani_Jskelinen-7959.pdf, 2016.
- [28] Angelos Amditis ja Panagiotis Lytrivis. Towards automated transport systems: European initiatives, challenges and the way forward. Teoksessa Gereon Meyer ja Sven Beiker, toim., *Road Vehicle Automation 2. Lecture Notes in Mobility*, s. 215–224. Springer International Publishing, Cham, 2015.
- [29] Steven E. Shladover. The truth about “self-driving” cars. *Scientific American*, 314(6):52 – 57, 2016.
- [30] J. Dokic, B. Müller, ja G. Meyer. *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving*. Berlin, 2015.
- [31] SAE International. *J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. 2016.
- [32] IEEE Spectrum. The Audi A8: the World’s First Production Car to Achieve Level 3 Autonomy. <http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/the-audi-a8-the-worlds-first-production-car-to-achieve-level-3-autonomy>. Viitattu: 13.7.2017.
- [33] Todd Litman. Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning. 2017.
- [34] Ogi Redzic ja Dietmar Rabel. A location cloud for highly automated driving. Teoksessa Gereon Meyer ja Sven Beiker, toim., *Road Vehicle Automation 2. Lecture Notes in Mobility*, s. 49–60. Springer International Publishing, Cham, 2015.
- [35] Satu Innamaa, Heikki Kanner, Pirkko Rämä, ja Ari Virtanen. *Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä*. Helsinki, 2015.
- [36] U. Franke, D. Pfeiffer, C. Rabe, C. Knoepfel, M. Enzweiler, F. Stein, ja R. Herrtwich. Making Bertha See. 2013.
- [37] Cristofer Englund, John Estrada, Juhani Jaaskelainen, Jim Misener, Surya Satyavolu, Frank Serna, ja Sudharson Sundararajan. Enabling technologies for road vehicle automation. Teoksessa Gereon Meyer ja Sven Beiker, toim., *Road Vehicle Automation 4*, s. 177–185. Springer International Publishing, Cham, 2018.

- [38] J. Ziegler, P. Bender, M. Schreiber, H. Lategahn, T. Strauss, C. Stiller, T. Dang, U. Franke, N. Appenrodt, C. G. Keller, E. Kaus, R. G. Herrtwich, C. Rabe, D. Pfeiffer, F. Lindner, F. Stein, F. Erbs, M.ENZweiler, C. Knoppel, J. Hipp, M. Haueis, M. Trepte, C. Brenk, A. Tamke, M. Ghanaat, M. Braun, A. Joos, H. Fritz, H. Mock, M. Hein, ja E. Zeeb. Making Bertha Drive — An Autonomous Journey on a Historic Route. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6(2):8–20, 2014.
- [39] Sini Kahilaniemi, Pekka Stenman, Matti Kutila, Satu Innamaa, ja Johan Scholliers. *Tampereen automaattiliikenteen käyttöönottoselvitys*. Tampere, 2016.
- [40] Fredrik Gustafsson, Umut Orguner, Thomas B. Schön, Per Skoglar, ja Rickard Karlsson. Navigation and tracking of road-bound vehicles using map support. Teoksessa Azim Eskandarian, toim., *Handbook of Intelligent Vehicles*, s. 397–434. Springer London, London, 2012.
- [41] John Craig. Map Data for ADAS. Teoksessa Azim Eskandarian, toim., *Handbook of Intelligent Vehicles*, s. 881–892. Springer London, London, 2012.
- [42] Liikennevirasto. Aurora-hanke. <http://www.liikennevirasto.fi/web/en/>. Viitattu: 15.5.2017.
- [43] Maanmittauslaitos. Arctic Positioning Navigation and Timing Innovation Platform: Nordic Hub based on the SNOWBOX Infrastructure. <https://arctic-pnt.org/>. Viitattu: 27.10.2017.
- [44] Maanmittauslaitos. Paikkatietoalusta-hanke. <http://www.paikkatietoalusta.fi/>. Viitattu: 12.10.2017.
- [45] Maanmittauslaitos. Paikkatietoalustahankkeen Osoitetietojärjestelmä-osahanke. <http://osoitteet.paikkatietoalusta.fi/>. Viitattu: 12.10.2017.
- [46] Maanmittauslaitos. Peruskartta, avoin aineisto. <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>. Viitattu: 20.10.2017.
- [47] László Bácsatyai ja József Závoti. Transformations in geoinformatics. *Publications in Geomatics*, 4:11–20, 2001.

